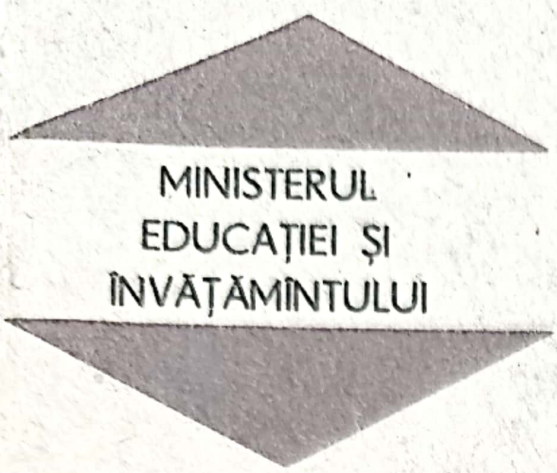




MINISTERUL
EDUCAȚIEI ȘI
ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

ACTIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee industriale și
de matematică-fizică, clasa a XII-a,
și școli profesionale



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. doc. ing. N. V. BOȚAN

Dr. ing. CORNELIU BOȚAN

Dr. ing. ILIE PAPADACHE

ACTIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee cu profilurile de mecanică, mine-petrol-geologie, metalurgie, materiale de construcții, prelucrarea lemnului, industrie alimentară, industrie ușoară, poligrafie, aeronautică, clasa a XII-a, și pentru școli profesionale



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1988

Textul evidențiat cu o linie verticală pe marginea stîngă a paginii este adresat numai elevilor de liceu.

Manualul este reeditat după ediția din anul 1980, elaborată în conformitate cu programa școlară aprobată de Ministerul Educației și Învățămîntului cu nr. 3448/1979

Capitolul 15, nou introdus, conform programei școlare aprobate de Ministerul Educației și Învățămîntului cu nr. 40010/1987, a fost elaborat de conf. univ. dr. ing. C. Nitu

Referenți: ing. prof. Corina Soare
ing. prof. Constantin Grigoraș

Redactor: ing. Monica Ursea
Tehnoredactor: Țîmpău Ana
Grafician copertă: D. Nițescu

Partea întâi

ACȚIONĂRI

Capitolul 1

NOȚIUNI GENERALE DESPRE MAȘINILE ELECTRICE

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Mașinile electrice realizează transformarea energiei electrice în energie mecanică (motoare electrice sau electromotoare) sau a energiei mecanice în energie electrică (generatoare electrice).

Generatoarele electrice funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică, iar motoarele electrice — pe baza forței electromagnetice cu care acționează un câmp magnetic asupra unui conductor prin care circulă curent electric. Mașinile electrice sînt reversibile, adică pot funcționa atît ca generator, cît și ca motor, fără modificări constructive.

În afară de aceste mașini, se utilizează și sisteme care transformă energia electrică tot în energie electrică, modificîndu-i anumiți parametri (curent, tensiune, frecvență). Dintre acestea menționăm: convertizoarele (rotative sau statice), redresoarele, transformatoarele.

La majoritatea mașinilor electrice utilizate în prezent, mișcarea mecanică este o rotație și de aceea ele se mai numesc *mașini electrice rotative*. Orice mașină de acest tip prezintă constructiv două părți principale: o parte fixă — *stator* și una mobilă — *rotor*; între acestea există un spațiu de aer liber, numit *întrefier*.

După felul curentului, mașinile electrice se împart în *mașini de curent continuu* și *mașini de curent alternativ*, acestea din urmă putînd fi *sincrone* sau *asincrone*.

Orice mașină electrică se construiește pentru anumiți parametri nominali, înscriși pe plăcuța mașinii sau în datele de catalog. Astfel sînt:

— *puterea nominală* (în kW): puterea mecanică utilă la arborele motorului, respectiv puterea debitată la bornele generatorului (la generatoarele de curent alternativ se are în vedere de obicei puterea aparentă — în kVA);

— *tensiunea nominală* (în V): tensiunea ce se obține la bornele generatorului, respectiv tensiunea normală de alimentare a motorului;

— *curentul nominal* (în A): curentul corespunzător puterii și tensiunii nominale;

— *turația nominală* (în rot/min).

În afara acestora, se mai specifică și alte date nominale, funcție de tipul mașinii: curentul și tensiunea de excitație (la mașinile de curent continuu și la cele sincrone), factorul de putere și frecvența nominală (în Hz) — la mașinile de curent alternativ.

B. MAȘINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU

1. CONSTRUCȚIA MAȘINILOR ELECTRICE DE CURENT CONTINUU

La o mașină de c.c. se disting următoarele părți principale: *stator*, *rotor*, *colector*, *colier*, *portperii*, *scuturi*, *lagăre*, *cutie de borne* (v. secțiunea longitudinală din fig. 1.1).

• **Statorul** este format dintr-o carcasă cilindrică 1 din material magnetic, poli magnetici de excitație 2 fixați de carcasă și executați din tole de oțel, și bobine 3 montate pe poli; în afara polilor și a bo-

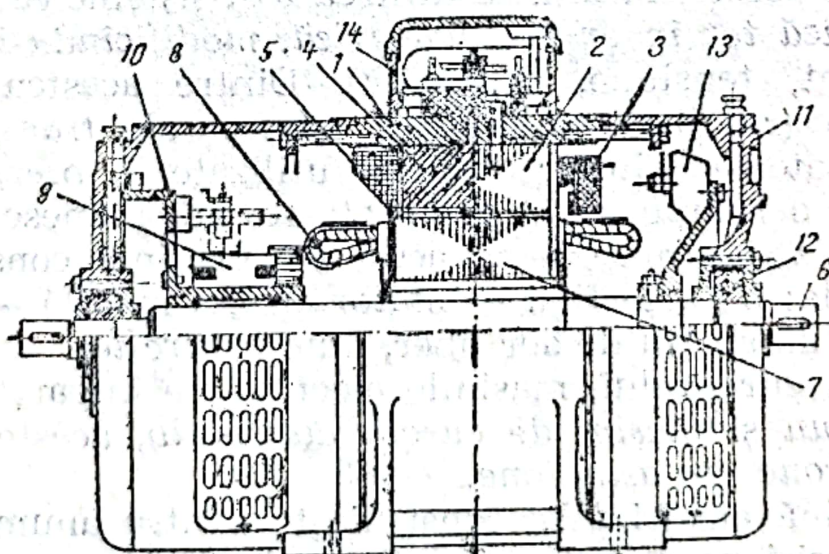


Fig. 1.1

binelor principale (de excitație), unele mașini mai au și poli 4 și bobine auxiliare (de comutație) 5.

- **Rotorul** este format dintr-un arbore 6 pe care sînt fixate celelalte elemente în mișcare și care realizează legătura mecanică cu exteriorul, pentru transmiterea mișcării de rotație, și un pachet de tole rotorice 7, din tablă silicioasă, de formă cilindrică, cu creștături la exterior, în care se introduce bobinajul indus 8; la unele mașini, pe arbore este fixat și un ventilator 13, pentru a realiza o circulație de aer necesară răcirii mașinii.

- **Colectorul** 9 este fixat pe arbore și este format din lamele de cupru de secțiune trapezoidală, izolate între ele și față de restul pieselor.

- **Colierul portperii** 10 este fixat de stator și conține portperiile în care se introduc periile (din cupru sau cărbune grafitat), care au rolul de a asigura un contact electric cu lamelele colectorului; colectorul și periile asigură legătura electrică între bornele mașinii fixate pe carcasă și înfășurarea rotorică mobilă.

- **Scuturile** 11 și **lagărele** (de obicei cu rulmenți) 12 permit montarea rotorului în interiorul statorului și rotirea lui.

- **Cutia de borne**, 14, montată pe carcasă, conține o placă pe care sînt fixate bornele prin care se realizează legătura electrică cu exteriorul.

2. FUNCȚIONAREA MAȘINII DE CURENT CONTINUU CA GENERATOR

- **Generatorul cu o spirală.** Conform principiului inducției electromagnetice, într-o spirală rotită într-un câmp magnetic constant ia naștere o tensiune electromotoare (t.e.m.). Dacă spira se rotește cu viteză constantă, poziția ei relativă față de câmpul magnetic variază după o lege sinusoidală și, ca atare, t.e.m. indusă este alternativă, fiind maximă cînd planul spirei este paralel cu liniile de flux și nulă cînd acestea sînt perpendiculare.

Legînd capetele spirei la cîte un inel pe care apasă cîte o perie și stabilind un circuit electric exterior între perii, prin acest circuit va trece un curent alternativ, determinat de t.e.m. indusă în spirală (fig. 1.2 — curba 1). Dacă în momentul inversării curentului în spirală se realizează și o inversare între capetele spirei și periile la care este legat circuitul exterior, atunci t.e.m. la perii, respectiv curentul exterior, își păstrează sensul (curba 2), asemănător curentului con-

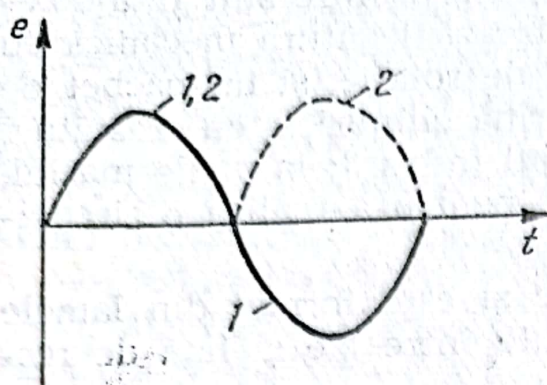


Fig. 1.2

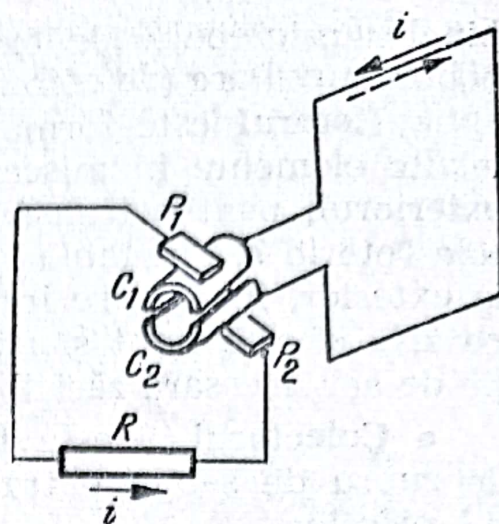


Fig. 1.3

tinuu. O astfel de inversare se obține dacă cele două inele sînt înlocuite cu un singur inel, secționat în două (fig. 1.3). În adevăr, fie sensurile curenților în spiră și în circuitul exterior ca în figură. Dacă periile se așază astfel ca odată cu inversarea sensului curențului în spiră să se producă și trecerea semiinelului C_1 sub peria P_2 și a semiinelului C_2 sub peria P_1 , atunci curentul prin spiră (marcat punctat) se închide prin semiinelul C_2 , peria P_1 , rezistența R , peria P_2 și semiinelul C_1 , deci rezistența R este parcursă în același sens ca și în semirotația anterioară (dinspre peria P_1 spre peria P_2).

• **Generatorul cu mai multe spire.** Dacă se mărește numărul de spire, dispunîndu-le simetric față de axa de rotație și corespunzător se crește și numărul de lamele colectoare, atunci numărul pulsurilor de curent obținut pentru o rotație completă crește de tot atîtea ori. Curba curentului se apropie mai mult de cea a curentului continuu. Se ajunge de fapt la o înfășurare care se plasează în creștăturile pachetului de tole rotorice, numită *înfășurare rotorică* sau *indusă*.

Fluxul magnetic inductor se obține cu ajutorul unor bobine plasate pe poli corespunzători. Aceste bobine se numesc *bobine inductoare* sau *de excitație*.

Există mașini la care se folosesc mai multe perechi de poli și în mod corespunzător — mai multe perechi de peri, legate între ele. Axele pe care sînt plasați polii se numesc *axe polare*, iar direcțiile bisectoarelor unghiurilor formate de aceste axe se numesc *axe neutre*. Periile se plasează aproximativ pe axele neutre. Liniile de flux se închid prin polii inductori, întrefier, pachetul de tole rotorice și carcasa mașinii.

- Tensiunea electromotoare indusă într-o spiră este:

$$E_i = B_i l v,$$

unde B_i este inducția magnetică în întrefier în dreptul conductorului respectiv, de lungime l și deplasat cu viteza v . T.e.m. indusă în toate spirele înfășurării rotorice este suma unor astfel de t.e.m. parțiale. Ținând cont de proporționalitatea dintre inducția medie și fluxul de excitație Φ și de cea între viteza periferică v și cea de rotație n , se găsește în final că t.e.m. indusă în înfășurarea rotorică este

$$E = k_e \Phi n, \quad (1.1)$$

unde k_e este o constantă care depinde de realizarea constructivă.

- **Cuplul electromagnetic** care acționează asupra unui conductor parcurs de curentul i_a și aflat într-un câmp magnetic de inducție B_i este

$$M_i = F_i \frac{D}{2} = B_i i_a l \frac{D}{2},$$

în care F_i este forța la care este supus conductorul, iar D — diametrul rotorului. Considerînd suma cuplurilor ce acționează asupra tuturor spirelor, se ajunge în final la expresia cuplului electromagnetic al mașinii de c.c.:

$$M = k_m \Phi I_a. \quad (1.2)$$

Acesta este deci proporțional cu fluxul de excitație și curentul rotor I_a . Constanta k_m depinde de construcția mașinii. Sensul cuplului se determină cu regula mîinii stîngi.

3. FUNCȚIONAREA MAȘINII DE CURENT CONTINUU CA MOTOR

- **Reversibilitatea mașinii de c.c.** În figura 1.4, a este reprezentată simbolic o mașină de c.c. (cercul reprezintă înfășurarea rotorică, a, b — periile, bobina — înfășurarea de excitație, alimentată de la tensiunea U_{ex}). Generatorul reprezentat este rotit cu viteza n și debitează în rețea tensiunea U . Sensurile cuplului electromagnetic și al curentului sînt reprezentate în figură. Cuplul electromagnetic

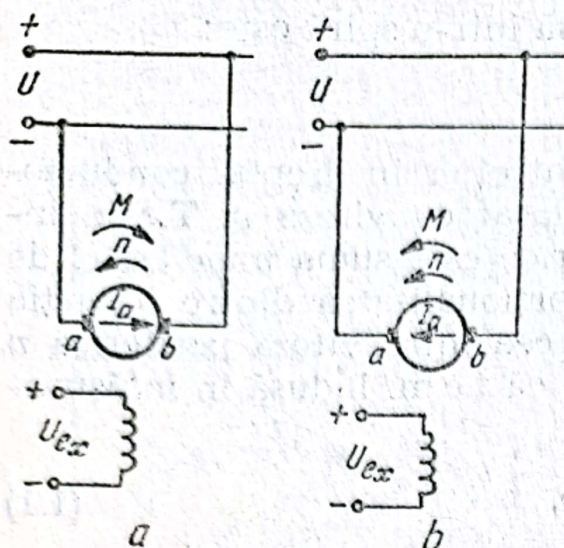


Fig. 1.4

M are sens opus celui de rotație, deci este un cuplu rezistent, care se opune mișcării. Tensiunea la borne (la perii) este:

$$U = E - \Delta U, \quad (1.3)$$

unde $\Delta U = R_a I_a$ este căderea de tensiune pe înfășurarea rotorică, R_a fiind rezistența acestei înfășurări.

Dacă se reduce turația sau se micșorează curentul, respectiv fluxul de excitație, atunci, conform relației (1.1), t.e.m. indusă scade și devine la un moment dat inferioară tensiunii U a rețelei. În acest caz,

curentul I_a își schimbă sensul (fig. 1.4, b) și conform relației (1.2) își schimbă semnul și cuplul electromagnetic M , care capătă același sens ca și sensul de rotație, fiind deci un cuplu motor, care ajută mișcarea. T.e.m. indusă își păstrează semnul, deoarece mărimile de care depinde nu s-au inversat, și satisface acum relația:

$$U = E + \Delta U. \quad (1.4)$$

○ **În concluzie**, mașina de c.c. poate funcționa atât ca motor, cât și ca generator. Ecuația de tensiuni este (1.3) la funcționarea ca generator și (1.4) la funcționarea ca motor, când E are semnificație de tensiune contraelectromotoare. Cuplul electromagnetic este un cuplu rezistent la generator și un cuplu motor în cazul funcționării ca motor. T.e.m. indusă și cuplul electromagnetic se calculează cu aceleași relații în ambele regimuri de funcționare (generator sau motor).

● **Funcționarea ca motor.** La funcționarea ca motor, indusul este conectat prin intermediul periilor la rețeaua de alimentare. Înfășurarea de excitație fiind și ea alimentată, apare o interacțiune între curentul rotoric și fluxul de excitație, care se manifestă prin apariția cuplului motor la arborele mașinii. Schimbarea sensului de rotație se poate face, conform relației (1.2), prin inversarea sensului fluxului de excitație sau al curentului rotoric, deci prin inversarea bornelor de alimentare la una dintre cele două înfășurări.

Dacă în relația (1.4) se înlocuiesc expresiile lui ΔU și E , se obține

$$U = k_e n \Phi + R_a I_a, \quad (1.5)$$

de unde, ținând cont de (1.2), rezultă

$$n = \frac{U - R_a I_a}{k_e \Phi} = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{R_a}{k_a k_m \Phi^2} M, \quad (1.6)$$

care reprezintă expresia analitică a caracteristicii mecanice a motorului de c.c.

4. SISTEME DE EXCITAȚIE ALE MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

• Până acum s-au considerat numai mașini cu excitație separată, adică cu circuitul de excitație alimentat separat față de circuitul rotor.

• Există însă și mașini cu autoexcitație, la care alimentarea înfășurării de excitație se realizează pe un circuit comun cu cea rotorică; la motoare se face alimentarea de la rețea, simultan cu înfășurarea rotorică, iar la generatoare se alimentează de la t.e.m. indusă în înfășurarea rotorică. La generatoarele autoexcitate, pornirea se explică prin existența unui flux creat de magnetismul remanent al polilor de excitație, capabil să amorseze funcționarea.

După modul de conectare a înfășurării inductoare în raport cu cea indusă, există mașini de curent continuu autoexcitate cu excitație serie, derivație sau mixtă.

În figura 1.5 sînt reprezentate cele patru moduri posibile de excitație a mașinilor de c.c. (a — cu excitație separată; b — cu excitație derivație; c — excitație serie; d — cu excitație mixtă), sub fiecare figură fiind indicate ecuațiile de funcționare pentru regimul de generator, respectiv de motor; cu U s-a notat tensiunea debitată

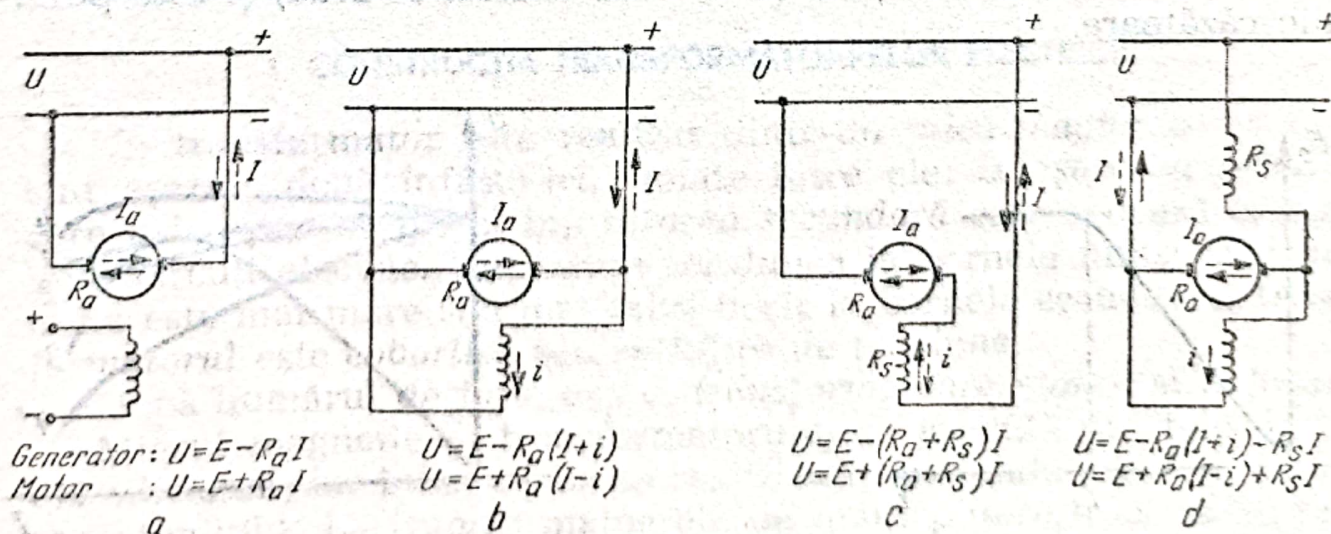


Fig. 1.5

de generator în rețea, respectiv tensiunea rețelei de alimentare a motorului; I_a reprezintă curentul prin înfășurarea rotorică, i — curentul de excitație, I — curentul vehiculat între mașină și rețea, R_a — rezistența din circuitul rotoric, R_s — rezistența înfășurării de excitație serie. Sensurile curenților sînt marcate cu linie plină pentru regimul de motor și cu linie întreruptă pentru cel de generator.

○ **Observație.** Prin înfășurările de excitație separată sau derivație circulă un curent mult mai mic decît I_a , deoarece aceste înfășurări se confecționează cu un număr mare de spire și de secțiune mică și deci au o rezistență mare.

5. CARACTERISTICILE MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

• La generatoare interesează în special:

— *caracteristica de mers în gol* $E_0=f(i)$: se constată o dependență aproximativ liniară a t.e.m. de mers în gol E_0 în funcție de curentul de excitație i , pînă la atingerea valorii i_s de saturație a cîmpului magnetic, în continuare E_0 fiind practic constantă. La $i=0$, $E_0 \neq 0$, datorită magnetismului remanent (fig. 1.6);

— *caracteristica externă* $U=f(I)$: forma de variație a tensiunii la borne U funcție de curentul de sarcină I depinde de tipul excitației (fig. 1.7). La generatorul serie (curba 3) se observă o creștere a tensiunii U , urmată de o scădere. La generatorul cu excitație separată (curba 1) sau derivație (curba 2), caracteristica este ușor căzătoare. Curba 4 corespunde generatorului cu excitație mixtă aditională (cele două înfășurări de excitație sînt conectate astfel încît fluxurile lor se adună), iar curba 4' corespunde generatorului cu excitație mixtă diferențială (cele două fluxuri se scad) și este puternic căzătoare.

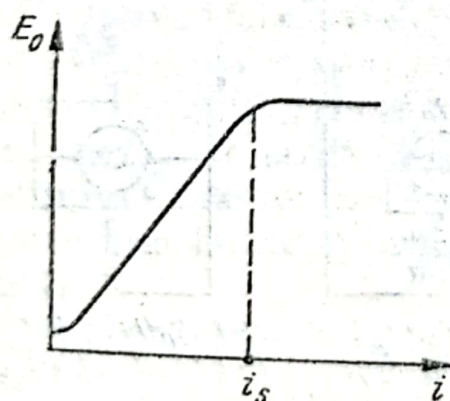


Fig. 1.6

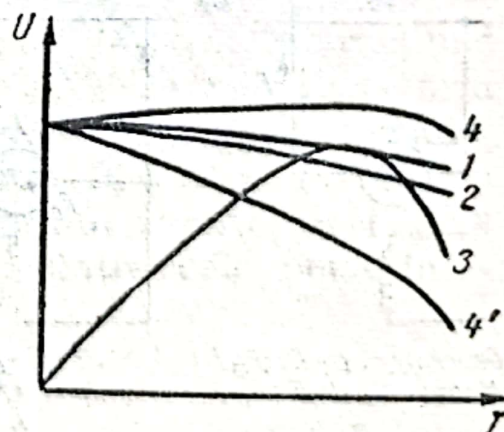


Fig. 1.7

• La motoare interesează mai ales caracteristicile mecanice, care vor fi discutate în cap. 4.

Pornirea motoarelor de c.c. ridică unele probleme: așa cum arată relația (1.5), la pornire (cînd $n=0$) curentul rotoric este

$$I_p = \frac{U}{R_a} \quad (1.7)$$

și cum R_a are valoare mică, rezultă pentru I_p valori inadmisibil de mari. Pentru a micșora I_p , se recurge fie la micșorarea tensiunii U în momentul pornirii (dacă se dispune de o sursă de tensiune reglabilă), fie la creșterea rezistenței din circuitul rotoric, prin introducerea unui reostat de rezistență R_p , caz în care curentul rotoric la pornire devine

$$I_p = \frac{U}{R_a + R_p} \quad (1.8)$$

Pe măsură ce motorul se accelerează, se scot din circuit diverse trepte ale reostatului de pornire, pînă cînd $R_p=0$.

○ **Atragem atenția** că la motoarele prevăzute cu excitație derivație, rezistența de pornire trebuie montată *numai în circuitul rotoric* și nu în circuitul comun al înfășurărilor induse și inductoare. În caz contrar, s-ar produce o diminuare a fluxului și, conform relației (1.2), cuplul la pornire ar fi prea mic, insuficient demarării.

C. TRANSFORMATORE ELECTRICI

Transformatorul este un aparat static (fără piese în mișcare) care modifică tensiunea și curentul dintr-un circuit electric, fără a modifica frecvența. Funcționarea transformatoarelor se bazează pe principiul inducției electromagnetice.

1. CONSTRUCȚIA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICI

Un transformator este realizat dintr-un miez magnetic pe care sînt așezate două înfășurări, izolate între ele: înfășurarea primară care primește energie și înfășurarea secundară care cedează energie unui circuit electric. După cum tensiunea la bornele înfășurării primare este mai mare sau mai mică decît la bornele secundare, transformatorul este coborîtor sau ridicător de tensiune.

După numărul de faze, există transformatoare mono- și trifazate. Miezul magnetic al transformatorului se execută din tole de tablă silicioasă, iar înfășurările se realizează din conductoare de cupru sau aluminiu. La transformatoarele de mare putere, răcirea se face în ulei.

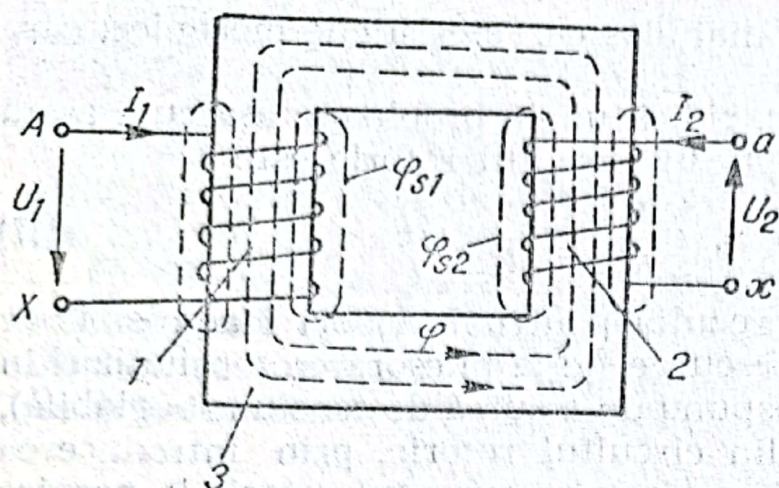


Fig. 1.8

Un transformator este caracterizat prin puterea sa aparentă nominală, tensiunile nominale din primar și secundar și prin alți parametri, cum ar fi tensiunea de scurtcircuit, grupa de conexiuni (la cele trifazate).

2. TRANSFORMATORUL MONOFAZAT

Principiul de funcționare.

Să considerăm transformatorul reprezentat în figura 1.8, în care 1 și 2 reprezintă înfășurările primară, cu N_1 spire, respectiv secundară, cu N_2 spire, iar 3 — miezul magnetic. În această figură și în relațiile următoare, mărimile afectate de indicele 1 se referă la înfășurarea primară, iar mărimile afectate de indicele 2 — la înfășurarea secundară.

Curentul i_1 produce în înfășurarea primară o tensiune magnetomotoare (t.m.m.) $N_1 i_1$ și deci un flux Φ , care se închide prin circuitul magnetic 3. Acest flux induce t.e.m. e_1 și e_2 în cele două înfășurări. T.e.m. e_1 se opune tensiunii u_1 și este aproximativ egală cu aceasta. Dacă secundarul este în sarcină (există consumatori conectați la bornele acestuia), prin înfășurarea secundară circulă curentul i_2 , care produce t.m.m. $N_2 i_2$, opusă t.m.m. $N_1 i_1$, deci trebuie să scadă fluxul Φ . Însă fluxul Φ are tendința de a-și menține constantă valoarea, pentru a realiza $e_1 \cong u_1$, și acest lucru se asigură prin creșterea t.m.m. $N_1 i_1$, deci prin creșterea curentului i_1 . Deci, la mersul în gol, transformatorul absoarbe de la rețea un curent i_{10} de valoare mică (numit *curent de mers în gol*), iar la mersul în sarcină valoarea curentului absorbit de primar crește.

La mersul în gol $U_1/U_2 = N_1/N_2$. În sarcină, U_2 scade față de mersul în gol.

3. TRANSFORMATORUL TRIFAZAT

- **Construcția.** Cele trei înfășurări primare și secundare sînt dispuse pe un miez cu trei coloane (fig. 1.9); primarul și secundarul unei faze se află pe aceeași coloană.

- **Conexiunile înfășurărilor primare și secundare** (fig. 1.10) pot fi în stea (a), în triunghi (b) și — mai rar — în zigzag (c). Între ten-

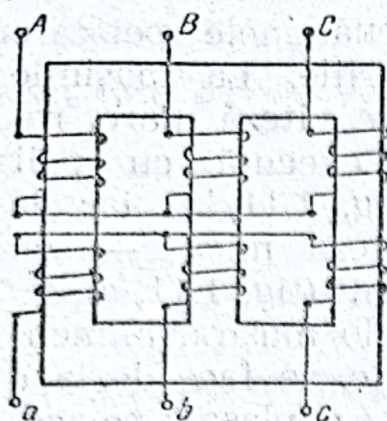


Fig. 1.9

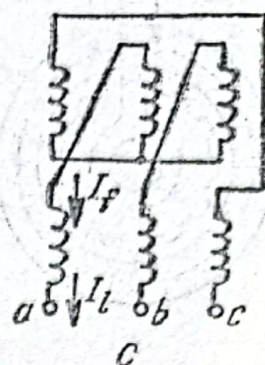
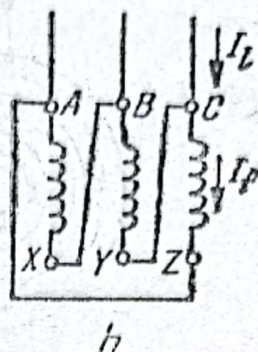
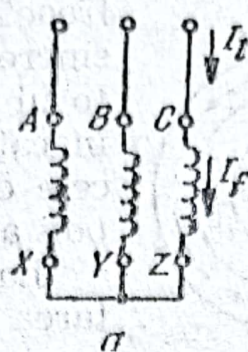


Fig. 1.10

siunile între faze și cele de linie și între curenții pe linie și cei pe fază există relațiile:

— conexiunea stea: $U_l = \sqrt{3}U_f$; $I_l = I_f$;

— conexiunea triunghi: $U_l = U_f$; $I_l = \sqrt{3}I_f$.

La transformatoarele trifazate se pot întâlni numeroase grupe de conexiuni, funcție de tipul conexiunii primare și secundare și de defazajul realizat între tensiunile primare și secundare prin modul de legare a capetelor înfășurării. Numai o parte dintre conexiunile posibile sînt standardizate.

• **Raportul de transformare.** La conexiunile stea-stea sau triunghi-triunghi, raportul de transformare (definit ca raport între tensiunile de linie din primar și secundar) se calculează la fel ca în cazul transformatorului monofazat, fiind egal cu raportul $k_N = N_1/N_2$ al numărului de spire. La alte conexiuni nu mai este valabilă aceeași relație. De exemplu, la conexiunea stea-triunghi: $k = E_{AB}/E_{ab} = \sqrt{3}E_A/E_a = \sqrt{3}N_1/N_2 = \sqrt{3}k_N$.

• **Puterea în primar** este $P_1 = 3U_{1f}I_{1f} \cos \varphi_1$ și, indiferent de conexiune, rezultă $P_1 = \sqrt{3}U_{1l}I_{1l} \cos \varphi_1$. Analog, pentru secundar: $P_2 = \sqrt{3}U_{2l}I_{2l} \cos \varphi_2$.

D. MAȘINI ELECTRICE SINCRONE

1. ELEMENTE CONSTRUCTIVE

Cele mai folosite sînt mașinile sincrone trifazate. În mod obișnuit, pe stator se plasează o înfășurare trifazată, iar pe rotor — înfășurarea de excitație, alimentată în curent continuu prin interme-

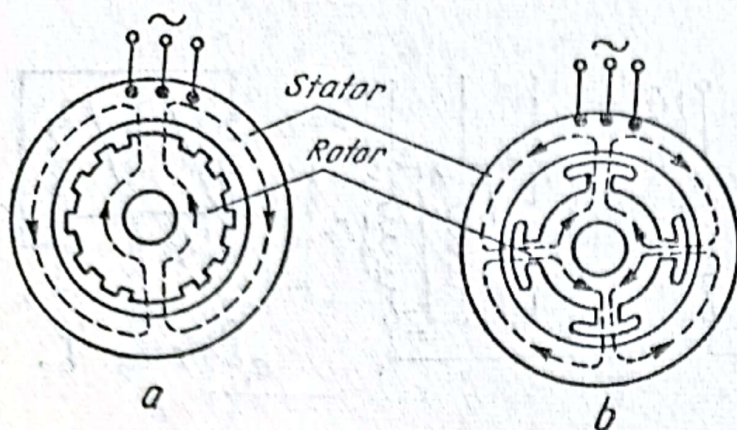


Fig. 1.11

diul a două inele pe care freacă periile. La mașinile sincrone de viteză mare, rotorul se execută cu poli înecați (fig. 1.11, b), iar la cele de viteză mică — cu poli aparenti (fig. 1.11, a).

La unele mașini, alimentarea în c.c. se face de la o mașină de c.c. plasată pe același ax cu al mașinii sincrone, numită *excitatoare*.

2. FUNCȚIONAREA MAȘINII SINCRONE CA GENERATOR

Generatorul sincron (alternatorul) are înfășurarea rotorică alimentată în c.c., rotorul fiind antrenat de un motor primar (de exemplu, turbină cu abur sau hidraulică), și generează un sistem trifazat de tensiuni.

• **T.e.m. indusă.** Dacă se consideră ca origine de fază unghiul $\frac{\pi}{2}$ și se ține cont de proporționalitatea dintre inducția magnetică și intensitatea cîmpului, rezultă pentru inducție o variație sinusoidală, deci spirele înfășurării statorice sînt străbătute de un flux magnetic alternativ

$$\varphi = \Phi_m \sin \omega t, \quad (1.9)$$

care induce în cele N spire ale unei faze o t.e.m.

$$e = -N \frac{d\varphi}{dt} = -N \Phi_m \omega \cos \omega t = N \Phi_m \omega \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Valoarea efectivă a tensiunii este:

$$E = \frac{N \Phi_m \omega}{\sqrt{2}} = 4,44 f N \Phi_m. \quad (1.11)$$

În cele trei faze se induce t.e.m. defazate, deoarece inducția nu este maximă simultan în dreptul fiecărei faze. Pentru o mașină cu p perechi de poli, fazele statorice sînt decalate cu unghiul geometric $\frac{2\pi}{3} \cdot \frac{1}{p}$

și atunci unghiul electric de defazaj este $p \frac{2\pi}{2p} = \frac{2\pi}{3}$, adică 120° electrice.

Frecvența t.e.m. induse este

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{p\Omega}{2\pi} = \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{pn}{60} \quad (1.12)$$

Frecvența rețelelor fiind constantă (în țara noastră și în general în Europa, $f=50$ Hz), rezultă că turațiile de sincronism n pentru mașinile conectate la sistemul energetic sînt bine determinate (ele sînt 3 000, 1 500, 1 000 ... rot/min, pentru mașini cu 1, 2, 3 ... perechi de poli).

• **Caracteristica externă** $U=f(I)$ a generatorului sincron are aspectul din figura 1.12 și este, după cum se vede, influențată de factorul de putere $\cos \varphi$.

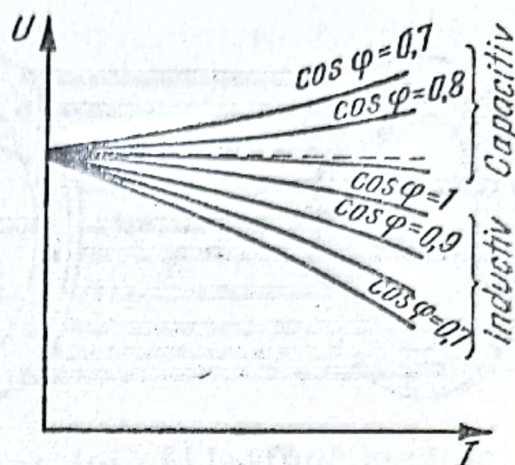


Fig. 1.12

3. FUNCȚIONAREA MOTORULUI SINCRON

Mașina sincronă este reversibilă, deci funcționează și ca motor. În acest caz, înfășurarea statorică se alimentează de la rețeaua trifazată. Cîmpurile învîrtitoare statoric și rotoric au tendința de a se roti *sincron* (cu aceeași viteză unghiulară). Polii nord rotorici se plasează în fața polilor sud statorici, dar decalati în urma acestora cu *unghiul intern* θ . Cuplul electromagnetic este un cuplu motor.

Se observă că mașina poate funcționa pînă la o încărcare maximă la care $\theta = \pi/2$. Dacă $\theta > \pi/2$, deci cînd cuplul rezistent la arbore depășește valoarea limită numită „cuplu de desprindere”, motorul sincron nu mai poate asigura cuplul electromagnetic necesar și iese din sincronism.

E. MAȘINA ASINCRONĂ

Mașina asincronă este o mașină trifazată de c.a., folosită aproape în exclusivitate ca motor. Are o construcție simplă, robustă, este ușor de întreținut, ceea ce face ca motorul asincron să fie cel mai răspîndit dintre motoarele electrice.

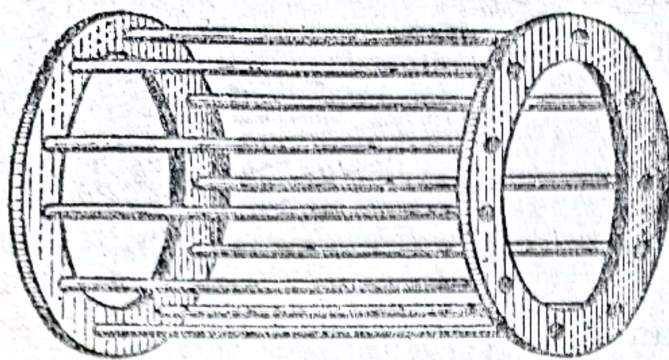


Fig. 1.13

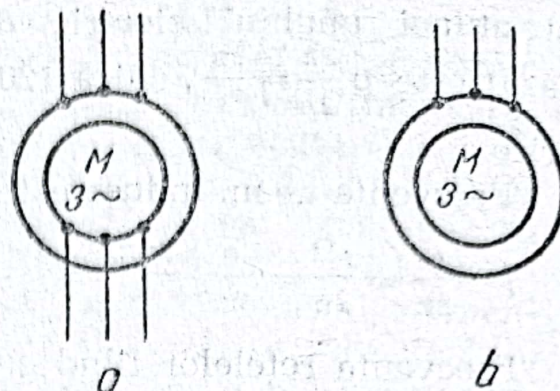


Fig. 1.14

1. ELEMENTE CONSTRUCTIVE

Există două variante constructive de bază ale motoarelor asincrone:

- motoare asincrone cu rotorul bobinat și cu inele colectoare;
- motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit.

În ambele cazuri, înfășurarea statorică trifazată este plasată în creștăturile pachetului de tole.

În prima variantă, rotorul conține o înfășurare trifazată, plasată în creștăturile pachetului de tole rotorice și legată la borne prin intermediul a trei inele colectoare și al periilor care calcă pe ele.

La motoarele cu rotorul în scurtcircuit, locul înfășurării este luat de niște bare plasate în creștăturile rotorului și scurtcircuitate la capete, ansamblul circuitului electric rotorice avînd aspectul unei colivii (fig. 1.13). Motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit sînt evident mai simple și, ca atare, preferate în majoritatea cazurilor.

În schemele electrice, motoarele asincrone sînt reprezentate prin simbolurile din figura 1.14 (a — cu inele colectoare, b — cu rotorul în scurtcircuit).

La acționări de puteri mai ridicate, cu porniri mai dificile și cu eventuale necesități de reglaj al vitezei, se preferă motoarele cu inele.

2. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE A MOTORULUI ASINCRON

Dacă înfășurarea statorică este alimentată cu un sistem trifazat de tensiuni, ia naștere un cîmp magnetic învîrtitor care se rotește cu viteza de sincronism $n_0 = \frac{60}{2\pi} \Omega = \frac{60 \omega}{2\pi p} = \frac{60f}{p}$ rot/min,

unde f este frecvența rețelei. Acest câmp întretaie conductoarele bobinajelor statorice și rotorice, inducând tensiunile

$$E_1 = 4,44 f N_1 \Phi_m \text{ și } E_2 = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \quad (1.13)$$

(s-a notat f_2 deoarece este diferită de f atunci când rotorul este în mișcare). Neglijând căderile de tensiune statorice, $U_1 \cong E_1$.

$$\frac{U_1}{E_{20}} \cong \frac{N_1}{N_2} = k_e \quad (1.14)$$

(E_{20} este t.e.m. indusă în înfășurarea rotorică la funcționarea în gol).

Atunci când înfășurările rotorice nu sînt deschise (cazul funcționării normale), în ele circulă un curent I_2 , care — prin interacțiune cu câmpul magnetic — creează un cuplu care rotește rotorul în sensul câmpului învîrtitor.

○ **Observație.** Rotorul nu poate atinge viteza de sincronism n_0 , întrucît în acest caz înfășurarea rotorică ar fi imobilă față de câmpul magnetic și ca atare dispăre t.e.m. E_2 și curentul I_2 . Viteza n_0 nu este atinsă nici la mersul în gol al motorului, căci există un cuplu rezistent de pierderi care impune existența unui cuplu motor și deci a curentului I_2 .

● **Alunecarea** se definește ca fiind mărimea

$$s = \frac{n_2}{n_0} = \frac{n_0 - n}{n_0}, \quad (1.15)$$

unde n este turația rotorului, iar n_2 este turația relativă între câmpul învîrtitor și rotor. La pornire $n=0$ și $s=1$; la sincronism $n=n_0$ și $s=0$. Alunecările nominale au valori cuprinse aproximativ în limitele 2 și 5.

○ **Notă.** Dacă la arbore se aplică un cuplu exterior, se poate atinge $n > n_0$ și atunci $s < 0$ (regim de generator).

● **Frecvența t.e.m. rotorice.** Pulsația t.e.m. induse în rotor depinde de viteza relativă între câmpul învîrtitor și înfășurarea rotorică:

$$\omega_2 = 2\pi f_2 = p(\Omega_0 - \Omega). \quad (1.16)$$

De aici:

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{p}{2\pi} \left(\frac{2\pi n_0}{60} - \frac{2\pi n}{60} \right) = \frac{p(n_0 - n)}{60}. \quad (1.17)$$

Făcînd raportul între f (din expresia lui n_0 dată anterior) și f_2 (relația 1.17), se obține:

$$f_2 = sf, \quad (1.18)$$

deci frecvența t.e.m. și a curenților rotorici este proporțională cu alunecarea.

Curenții rotorici produc un câmp de reacție, care față de rotor are viteza n_2 . Față de stator, acest câmp are viteza $n_2 + n = (n_0 - n) + n = n_0$, deci în raport cu un sistem de referință fix (cum este statorul), câmpul de reacție rotoric are viteza câmpului învîrtitor.

3. CUPLUL ELECTROMAGNETIC. CARACTERISTICI

Puterea electromagnetică transmisă rotorului este:

$$P_{em} = M_e \Omega_0, \quad (1.19)$$

iar puterea totală dezvoltată de rotor este

$$P_m = M_e \Omega = M_e (1-s) \Omega_0, \quad (1.20)$$

diferența dintre ele fiind dată de pierderile în cuprul înfășurării rotorice $\Delta P_{Cu2} = 3R_2 I_2^2$, deci:

$$M_e \Omega_0 - M_e (1-s) \Omega_0 = 3R_2 I_2^2, \quad (1.21)$$

de unde

$$M_e = \frac{3R_2 I_2^2}{s \Omega_0}. \quad (1.22)$$

Considerăm cuplul util M aproximativ egal cu cel electromagnetic:

$$M \cong M_e.$$

• Caracteristica mecanică

$$M = \frac{M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}. \quad (1.23)$$

Pentru $n = n_0$, $M = 0$, calculînd $\frac{dM}{ds} = 0$ se poate constata un extrem pentru caracteristica $M = f(s)$ (cuplul critic M_k), care se atinge pentru alunecarea critică s_k .

• Reglarea turației se poate face modificînd unul dintre parametrii care intervin în relația $n = n_0(1-s) = \frac{10f}{n}(1-s)$.

Discutarea mai amănunțită a acestei probleme se va face în cap. 4.

- **Inversarea sensului de rotație** se obține inversând sensul cîmpului învîrtitor, deci inversând între ele două faze.

- **Pornirea motorului asincron.** Ca și la motorul de c.c., curentul la pornire este exagerat de mare; în plus, cuplul la pornire este destul de mic. Înlăturarea acestor neajunsuri se poate obține prin introducerea de rezistențe în circuitul rotoric al motoarelor cu inele; la motorul cu rotorul în scurtcircuit, o posibilitate este pornirea cu conexiunea statorică în stea și trecerea ulterioară la conexiunea în triunghi.

F. PIERDERILE ȘI RANDAMENTUL MAȘINILOR ELECTRICE

Puterea absorbită P_a este puterea primită de la rețeaua de alimentare (la motoare), respectiv puterea primită la arbore de la motorul primar de antrenare (la generatoare).

Puterea utilă P este puterea disponibilă la arbore în cazul motoarelor, respectiv puterea la bornele generatoarelor.

Puterea electromagnetică P_{em} este întreaga putere transformată în putere mecanică (la motoare), respectiv în putere electrică (la generatoare).

Transformările $P_a \rightarrow P_{em} \rightarrow P$ se fac cu pierderi (ΔP), dintre care: *pierderi mecanice*, prin frecări; *pierderi în cupru* în înfășurările mașinii (puterea transformată în căldură este de forma Ri^2); *pierderi în fier*, datorită existenței histerezisului și a curentilor turbionari. La transformatoare apar pierderi în cupru și în fier.

Randamentul mașinilor electrice este

$$\eta = \frac{P}{P_a} = \frac{P}{P + \Delta P} \quad (1.24)$$

și are valori de circa 80—85% (mai ridicat la mașinile mai mari).

G. UTILIZAREA MAȘINILOR ELECTRICE

- **Generatoarele** se folosesc pentru producerea energiei electrice. Cele de c.c. se utilizează pentru alimentarea unor receptoare de c.c. (de exemplu, motoare de c.c., instalații de sudură ș.a.). Pentru ali-

mentarea rețelelor sistemului energetic, în centralele electrice se folosesc *generatoare sincrone*.

• **Motoarele** cel mai frecvent folosite sînt cele *asincrone*, datorită construcției lor simple și robuste. *Motoarele de c.c.* se utilizează mai ales în acționările în care este necesar un reglaj de viteză (la unele mașini-unelte, laminoare, excavatoare, în transport). *Motoarele sincrone* se folosesc mai rar; numai la puteri de peste 100 kW, la acționări cu viteză constantă (de exemplu, la compresoare), fiind utile prin faptul că permit compensarea factorului de putere scăzut al altor receptoare (în special al motoarelor asincrone).

Capitolul 2

ECUAȚIA FUNDAMENTALĂ A MIȘCĂRII

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

O **instalație de acționare** este formată, în general, din mai multe părți componente:

- *mașina de lucru*, sau mașina care este acționată;
- *motorul* pentru acționarea mașinii de lucru;
- *organul de transmisie* care face legătura între motor și mașina de lucru;
- *instalația de comandă* a întregului ansamblu.

În funcție de motorul folosit pentru acționarea unei mașini de lucru, se pot distinge: acționări *electrice*, *hidraulice* și *pneumatice*. În orice proces de acționare, mașina de lucru primește de la motor energia necesară pentru învingerea tuturor forțelor ce apar în timpul procesului de lucru, respectiv a *forțelor rezistente statice* F_s și a *forțelor rezistente dinamice* F_d .

Forțele rezistente statice sînt constituite din *forțele utile* f_u (de exemplu, în cazul unei mașini de ridicat — greutatea sarcinii ridicate, în cazul unei mașini-unelte pentru așchierea metalelor — forța este dată de efortul necesar pentru așchierea unei secțiuni de metal etc.) și din *forțele de frecare* f_f , în lagăre sau în diferite angrenaje ale mașinii de lucru, forțe de frecare cu aerul etc.

Forțele rezistente dinamice sînt datorate inerției pieselor în mișcare ale întregii instalații (motor, organ de transmisie, mașină de lucru). Aceste forțe apar de cîte ori are loc o modificare a vitezei de lucru a instalației, de exemplu: la pornire, oprire, inversarea sensului de rotație etc.

Prin urmare, pentru ca un motor de acționare să poată pune în mișcare o mașină de lucru (să o acționeze) este necesar ca el să dezvolte o forță F egală cu suma tuturor forțelor statice și dinamice:

$$F = F_s + F_d. \quad (2.1)$$

Această relație, care pune în evidență legătura dintre forțele rezistente date de mașina de lucru și forța pe care trebuie să o dezvolte motorul în vederea acționării, se numește **ecuația fundamentală a mișcării**.

B. ECUAȚIA FUNDAMENTALĂ A MIȘCĂRII PENTRU ACȚIONĂRI CU MIȘCARE LINIARĂ

Plecînd de la ecuația fundamentală a mișcării (2.1) se observă că, pentru determinarea forței F pe care trebuie să o dezvolte motorul în vederea punerii în mișcare a unei mașini de lucru, adică pentru stabilirea puterii motorului, este necesar să se cunoască forța rezistentă statică ($F_s = f_u + f_f$) dată de mașina de lucru și elementele de care depinde forța dinamică (F_d).

Forța rezistentă statică și în special forța utilă f_u depind de mai mulți factori, care diferă de la o mașină de lucru la alta, precum și de regimul de funcționare a acesteia. Aceștia vor fi examinați în capitolul 3.

Cît privește forța dinamică, se știe că:

$$F_d = m \cdot a, \quad (2.2)$$

unde m este masa totală a organelor în mișcare ale tuturor elementelor componente ale sistemului de acționare, iar $a = \frac{dv}{dt}$ este accelerația ce se imprimă organelor în mișcare, v fiind viteza liniară a acestora. Rezultă prin urmare că

$$F = F_s + \frac{dv}{dt}. \quad (2.3)$$

Ecuatia fundamentală a mișcării scrisă sub forma (2.3) se aplică sistemelor de acționare cu *mișcare liniară*.

○ **Observație.** Dacă se consideră că viteza liniară $v = \text{const.}$, se observă că $\frac{dv}{dt} = 0$ și prin urmare $F_d = m \frac{dv}{dt} = 0$. Se spune că în acest caz *sistemul de acționare funcționează în regim stabilizat*, iar forța pe care trebuie să o dezvolte motorul este $F = F_s$.

C. ECUAȚIA FUNDAMENTALĂ A MIȘCĂRII PENTRU ACȚIONĂRI CU MIȘCARE DE ROTAȚIE

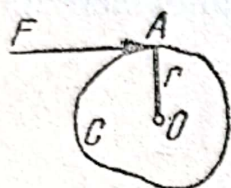


Fig. 2.1

Deoarece marea majoritate a acționărilor și în special a celor electrice sînt cu mișcare de rotație, ecuația fundamentală a mișcării (2.3) se poate transcrie astfel încît în locul forțelor F să apară cupluri. Pentru aceasta se presupune un corp C (fig. 2.1) care se rotește în jurul unui punct O , numit *centru de rotație*, sub acțiunea unei forțe F , aplicate într-un punct A , situat la distanța r de centrul de rotație O . În ipoteza că toate masele pieselor în mișcare de rotație sînt concentrate într-un singur punct la distanța r de centrul de rotație O , *cuplul de rotație* sau cuplul necesar pentru rotirea corpului C este dat de produsul $M = F \cdot r$. În această situație, relația (2.3) se poate scrie sub forma:

$$F \cdot r = F_s \cdot r + mr \frac{dv}{dt} \text{ sau } M = M_s + mr \frac{dv}{dt}$$

și dacă se înlocuiește viteza liniară v cu viteza de rotație Ω :

$$v = r\Omega \text{ sau } \frac{dv}{dt} = r \frac{d\Omega}{dt},$$

• rezultă că:

$$M = M_s + mr^2 \frac{d\Omega}{dt}. \quad (2.4)$$

Pe de altă parte, se știe că $J = mr^2$ reprezintă momentul de inerție al unui corp în mișcare de rotație, deci:

$$M = M_s + J \frac{d\Omega}{dt}. \quad (2.5)$$

Comparînd relațiile (2.1) cu (2.5) se observă că $M_d = J \frac{d\Omega}{dt}$ pentru acționări cu *mișcare de rotație*. În această situație: M este

cuplul dezvoltat de motor pe arborele său, M_s este cuplul rezistent static datorat forțelor rezistente statice, iar $M_d = J \frac{d\Omega}{dt}$ este cuplul rezistent dinamic, datorat forțelor rezistente dinamice.

D. FORME ALE ECUAȚIEI FUNDAMENTALE A MIȘCĂRII

Deoarece, de obicei, viteza motorului electric este dată în n rot/min, este mai comod ca în relația (2.5) viteza unghiulară Ω (dată în radiani/secundă) să fie exprimată în rot/min. Pentru aceasta, se ține seama că $\Omega = \frac{\pi n}{30}$ și deci $\frac{d\Omega}{dt} = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt}$.

De asemenea, cum momentul de inerție $J = mr^2$, iar $m = \frac{G}{g}$ (unde G este greutatea totală a corpului în mișcare de rotație, iar $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ este accelerația gravitației), rezultă că $J = \frac{G}{g} r^2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{D^2}{4}$. În această situație, ecuația (2.5) devine:

$$M = M_s + \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt}$$

sau

$$M = M_s + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (2.6)$$

Produsul $GD^2 = 4gJ$ se numește *moment de volant* sau *moment de girație* al corpului în mișcare de rotație.

Din cele expuse rezultă că ecuația fundamentală a mișcării se poate folosi practic sub diverse forme și anume:

— sub forma (2.3) atunci când sistemul de acționare este cu *mișcare liniară*;

— sub forma (2.5) când sistemul de acționare este cu *mișcare de rotație* și se cunosc momentul de inerție J și viteza unghiulară Ω a sistemului;

— sub forma (2.6) când sistemul de acționare este cu *mișcare de rotație* și se cunosc momentul de volant GD^2 și viteza de rotație n .

Nu este greu de observat că atunci când se cunosc momentul de volant GD^2 și viteza unghiulară Ω ale sistemului, ecuația fundamentală a mișcării se mai poate scrie sub forma:

$$M = M_s + \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\Omega}{dt} \quad (2.7)$$

E. UNITĂȚI DE MĂSURĂ PENTRU CUPLU, MOMENT DE INERȚIE ȘI MOMENT DE VOLANT

În *sistemul internațional de unități* (SI) unitatea de măsură pentru *cuplu* este newton-metrul (Nm). Pentru *momentul de inerție* $J = \frac{G}{g} r^2$ unitatea de măsură este $\frac{Ns^2}{m} m^2 = Nms^2$, iar pentru *momentul de volant*, unitatea de măsură este Nm^2 .

Deoarece în unele manuale de specialitate unitățile de măsură se mai dau în *sistemul tehnic de unități* (ST), în cele ce urmează sînt indicate și acestea și anume: pentru *cuplu*: kgfm, pentru *momentul de inerție*: kgfms², iar pentru *momentul de volant*: kgfm².

Se reamintește că $1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$, sau $1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgf}$.

F. RAPORTAREA CUPLULUI REZISTENT STATIC LA ARBORELE MOTORULUI

Ecuția fundamentală a mișcării, scrisă sub oricare dintre formele prezentate, este valabilă *numai atunci cînd turația arborelui motorului de acționare este aceeași cu turația arborelui mașinii de lucru*.

Această egalitate are loc atunci cînd motorul de acționare este cuplat direct cu mașina de lucru, adică fără organ intermediar de transmisie, sau atunci cînd organul de transmisie are *raportul de transmisie* $i = \frac{n}{n_1} = 1$, unde n este turația arborelui motorului, iar n_1 — turația arborelui mașinii de lucru.

Pentru ca ecuația fundamentală a mișcării să poată fi folosită și atunci cînd $i \neq 1$, este necesar a raporta toate cuplurile ce intervin la o singură viteză: fie a motorului; fie a mașinii de lucru. De obicei, raportarea se face la turația motorului.

Se știe, astfel, că *puterea pe arborele motorului* P_m este dată de cuplul M pe care-l dezvoltă motorul pentru a antrena mașina de lucru, înmulțit cu viteza sa unghiulară:

$$P_m = M \Omega. \quad (2.8)$$

Puterea pe arborele mașinii de lucru, pe care trebuie s-o învingă motorul, este:

$$P_s = M_s \Omega_s,$$

unde M_s este cuplul rezistent static dat de mașina de lucru. Deoarece, în regim static de funcționare, motorul trebuie să dezvolte pe

arborele său o putere $P_m = P_s$, dată de mașina de lucru, rezultă că $M\Omega = M_s\Omega_s$ sau $M = M_s \frac{\Omega_s}{\Omega}$ sau, deoarece $\frac{\Omega_s}{\Omega} = \frac{n_s}{n} = i$ (raportul de transmisie al organului de transmisie dintre motor și mașina de lucru), rezultă că cuplul pe care trebuie să-l dezvolte motorul pe arborele său este:

$$M_r = M_s \frac{1}{i},$$

cuplul M_r fiind cuplul rezistent static raportat la arborele motorului.

În realitate, deoarece în organul de transmisie au loc pierderi, care se evidențiază prin randamentul η al transmisiei, rezultă că pentru ca motorul să poată acționa mașina de lucru, va trebui să dezvolte o putere suplimentară necesară pentru învingerea acestor pierderi. În acest caz, este necesar ca $P_m\eta = P_s$ sau $M\Omega\eta = M_s\Omega_s$ sau, în final:

$$M_r = M_s \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{\eta}. \quad (2.9)$$

G. RAPORTAREA ECUAȚIEI FUNDAMENTALE A MIȘCĂRII (DE VOLANT) LA ARBORELE MOTORULUI

Pentru învingerea cuplului dinamic, motorul trebuie să dezvolte pe arborele său o putere $P'_m = M_{dr}\Omega$. Dacă se ține seamă că puterea dinamică pe arborele mașinii de lucru este $P_d = M_d\Omega_s$ și neglijând pierderile în organul de transmisie, se poate scrie că $M_{dr}\Omega = M_d\Omega_s$, de unde rezultă că $M_{dr} = M_d \frac{1}{i}$. Pe de altă parte, ținându-se seama că $M_{dr} = J_r \frac{d\Omega}{dt}$ și $M_d = J \frac{d\Omega_s}{dt}$, rezultă în final că $J_r = J \frac{1}{i^2}$, unde J_r este *momentul de inerție raportat la arborele motorului*. Dacă se ține seama și de randamentul organului de transmisie, rezultă că

$$J_r = J \frac{1}{i^2} \cdot \frac{1}{\eta}. \quad (2.10)$$

Ținându-se seamă că momentul de volant $GD^2 = 4gJ$, se poate scrie că

$$(GD^2)_r = GD^2 \frac{1}{i^2 \eta}. \quad (2.11)$$

○ **Observație.** În cazul raportării momentelor de inerție (de volant) la arborele motorului, trebuie să se țină seamă că momentul de inerție raportat se referă atât la organele în mișcare de rotație

ale motorului (J_m), cît și la piesele în mișcare de rotație ale mașinii de lucru (J_s). Avînd în vedere că raportarea se face la viteza arborelui motorului, rezultă că momentul de inerție raportat total va fi dat de relația

$$J_r = J_m + J_s \frac{1}{i^2 \eta} \quad (2.12)$$

H. DISCUTAREA ECUAȚIEI FUNDAMENTALE A MIȘCĂRII

Din examinarea ecuației fundamentale a mișcării, sub orice formă ar fi scrisă, se observă că valoarea și semnul cuplului dezvoltat de motor sînt date de valorile și semnele cuplurilor rezistente, statice și dinamic, raportate la arborele motorului de acționare.

• În legătură cu **semnul cuplului dezvoltat de motor**, se fac următoarele **convenții**:

— *cuplul dezvoltat de motor este pozitiv* atunci cînd motorul lucrează în sensul învingerii forțelor rezistente (statice și dinamice) date de mașina de lucru;

— *cuplul dezvoltat de motor este negativ* atunci cînd motorul lucrează în sensul opririi sau frînării mașinii de lucru.

• În legătură cu **semnul cuplurilor rezistente**, acestea se consideră: *pozitive*, atunci cînd acestea se opun mișcării date de motor, deci cînd motorul lucrează în sensul învingerii lor, și *negative* atunci cînd ajută mișcarea motorului, deci lucrează în același sens cu motorul.

Capitolul 3

CARACTERISTICILE MECANICE ȘI REGIMURILE DE FUNCȚIONARE ALE MAȘINILOR DE LUCRU

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Pentru a se putea studia modul de comportare a unui sistem de acționare, este necesar să se cunoască modul de comportare a mașinii de lucru acționate. Numărul și varietatea constructivă a ma-

șinilor de lucru întâlnite în practică necesită o grupare a acestora, atât din punctul de vedere al caracteristicilor lor mecanice, cât și din punctul de vedere al regimului lor de funcționare.

Prin caracteristica mecanică a unui motor electric se înțelege modul de variație a cuplului rezistent static al acesteia în funcție de un parametru care determină valoarea acestui cuplu.

Prin regim de funcționare al unei mașini de lucru se înțelege modul cum variază în timp cuplul rezistent static al mașinii.

B. CLASIFICAREA MAȘINILOR DE LUCRU ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICILE LOR MECANICE

Cuplul rezistent static al unei mașini de lucru poate depinde de diferiți parametri, cum ar fi:

- viteza de deplasare sau de rotație;
- un unghi pe care un organ component al mașinii de lucru îl face cu o anumită poziție de referință;
- drumul parcurs de mașina de lucru;
- mai mulți parametri, fără a se putea stabili o dependență precisă și regulată a cuplului rezistent static de un anumit parametru.

În funcție de acești parametri se poate face o primă clasificare a mașinilor de lucru.

1. MAȘINI DE LUCRU CU CUPLUL REZISTENT STATIC CONSTANT

La această categorie de mașini, cuplul rezistent static depinde, practic, numai de sarcina care determină valoarea acestui cuplu. Dacă pe un anumit interval de timp sarcina rămâne constantă, se poate considera că și cuplul rezistent static rămâne constant. Dacă se consideră sistemul de axe de coordonate MOt (fig. 3.1), caracteristica mecanică se prezintă ca o dreaptă paralelă cu axa turației.

Din această categorie de mașini fac parte, de exemplu: mecanismele de ridicare și de deplasare a sarcinilor la podurile rulante și macarale, ascensoarele cu sarcină utilă constantă, benzile transportoare cu sarcină uniformă de-a lungul lor, laminoarele reversibile, calandrelor din industria hârtiei, mașinile de imprimat etc.

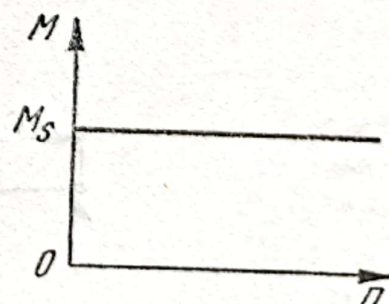


Fig. 3.1

2. MAȘINI DE LUCRU CU CUPLUL REZISTENT STATIC DEPENDENT DE VITEZĂ

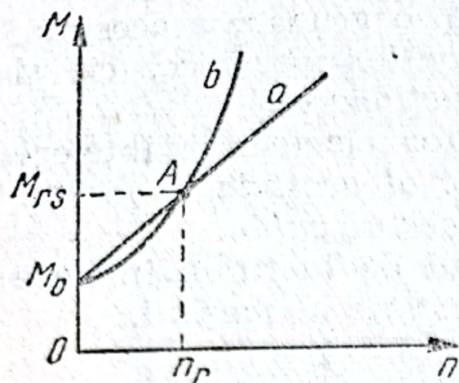


Fig. 3.2

• Mașinile de lucru din această categorie pot avea **cuplul rezistent static dependent liniar de viteză** (fig. 3.2, a). După cum se observă, unei anumite viteze de regim îi corespunde un anumit punct de funcționare A, pentru care cuplul rezistent static este M_{rs} . Cuplul M_0 reprezintă cuplul de frecări al mașinii de lucru.

Din această grupă fac parte calandrele din industria textilă, valțurile din industria cauciucului, unele mașini de bobinat.

• Tot din această categorie de mașini fac parte mașinile de lucru la care **cuplul rezistent crește cu pătratul vitezei** (fig. 3.2, curba b). Dintre aceste mașini menționăm: ventilatoarele, turbo-compresoarele, pompele centrifuge, elicele de pe navele marine etc.

Se menționează că există și mașini de lucru la care **cuplul rezistent static crește cu viteza la puterea a treia și chiar mai mult**, dar acestea se întâlnesc mai rar. Exemple de astfel de mașini sînt supra-centrifugele din industria chimică.

3. MAȘINI DE LUCRU CU MECANISM BIELĂ-MANIVELĂ

Din această categorie de mașini fac parte: ferăstraiele mecanice, foarfecele de tăiat metal, ciocanele mecanice, compresoarele cu piston, pompele de adîncime pentru extracția de țiței și în general toate mașinile care au în componența lor mecanisme bielă-manivelă.

Cuplul rezistent static la aceste mașini de lucru depinde de unghiul α (fig. 3.3) pe care-l face manivela OB cu direcția AO de deplasare a glisierii C. În adevăr, ținîndu-se seama că pentru

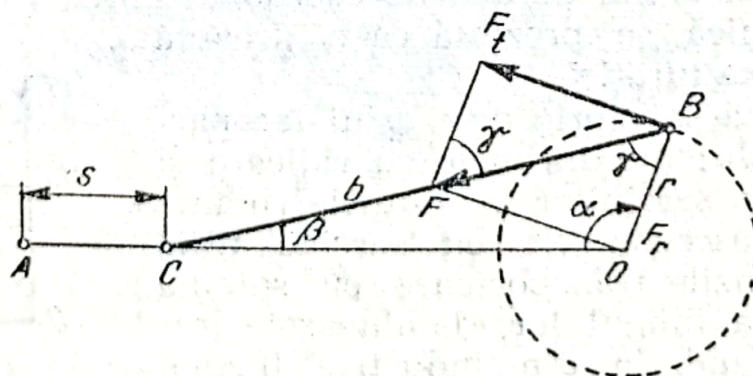


Fig. 3.3

astfel de mecanisme spațiul s parcurs de glisiera C în timpul unei rotații complete a manivelei este $s \cong r(1 - \cos \alpha)$, viteza glisierii C va fi dată de relația:

$$v_C = \frac{ds}{dt} = r\Omega \sin \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt} = r \sin \alpha,$$

unde $\Omega = \frac{d\alpha}{dt}$ este viteza unghiulară a fusului B al mecanismului.

Rezultă deci că viteza glisierii C depinde de unghiul α .

Se mai observă că forța care imprimă mișcarea fusului B al mecanismului și deci a glisierii C , deci forța care dă naștere cuplului rezistent static util este forța tangențială $F_t = F \sin \gamma$. Ținând seama de elementele triunghiului OBC , se poate arăta că $F_t = F \left(\sin \alpha + \frac{r}{2b} \sin 2\alpha \right)$ și, ca urmare, cuplul rezistent static tangențial va fi:

$$M_s = F_t \cdot r = M \left(\sin \alpha + \frac{r}{2b} \sin 2\alpha \right).$$

Se observă deci că cuplul rezistent static depinde de unghiul α pe care-l face manivela OB cu direcția de deplasare a glisierii C . Forma caracteristicii mecanice pentru o asemenea mașină de lucru este indicată în figura 3.4. Ea este sinusoidală sau aproape de o sinusoidă, în funcție de mașina de lucru.

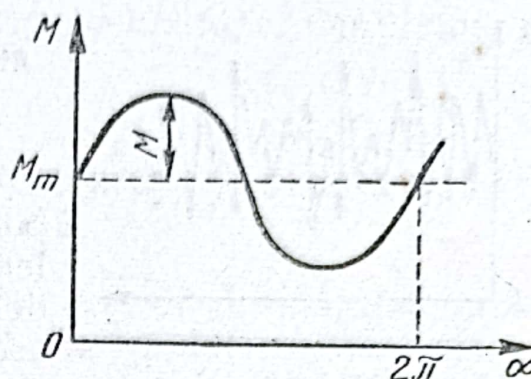


Fig. 3.4

4. MAȘINI DE LUCRU LA CARE CUPLUL REZISTENT STATIC DEPINDE DE DRUMUL PARCURS

Din această categorie de mașini de lucru fac parte în general vehiculele de tot felul (tramvaie, troleibuze, locomotive electrice sau alte vehicule acționate mecanic). Cuplul rezistent static la aceste mașini depinde atât de greutatea și viteza vehiculului, cât și de drumul pe care-l parcurge, adică: drum drept, curbe, pante sau rampe. Este evident că cuplul rezistent static este mai mare dacă vehiculul urcă în pantă sau se înscrie în curbă, decât în cazul deplasării pe drum drept.

5. MAȘINI DE LUCRU PENTRU CARE CUPLUL REZISTENT STATIC VARIAZĂ FOARTE NEREGULAT ÎN TIMP

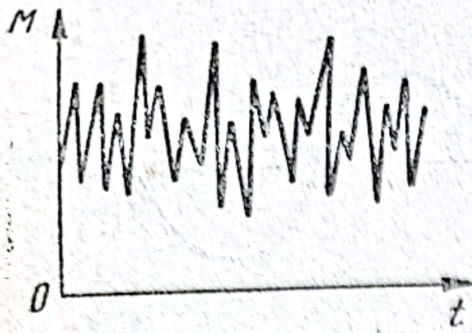


Fig. 3.5

Din această categorie de mașini fac parte, de exemplu: ferăstraiele pentru lemn, malaxoarele, morile cu bile, sondele de foraj etc. Cuplul rezistent static la asemenea mașini de lucru depinde de un număr apreciabil de parametri, care se modifică permanent, fără a exista o lege de variație a acestora în timp. Astfel, la un ferăstrău pentru lemn cuplul rezistent static depinde de textura lemnului, de umiditatea sa, de faptul că prezintă sau nu noduri, de forța cu care apasă pe lemn etc. Forma de variație a cuplului rezistent static, foarte neregulată în timp, este reprezentată în figura 3.5.

C. CLASIFICAREA MAȘINILOR DE LUCRU ÎN FUNCȚIE DE REGIMUL LOR DE FUNCȚIONARE

Din punctul de vedere al modului de variație a cuplului rezistent în timp, mașinile de lucru pot fi împărțite în mai multe categorii.

1. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE CU SARCINI DE DURATĂ INVARIABILE ÎN TIMP

În acest caz, pe toată durata de funcționare (chiar de ordinul orelor) cuplul rezistent static rămâne practic constant (fig. 3.6).

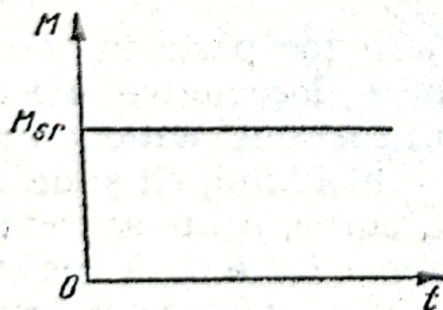


Fig. 3.6

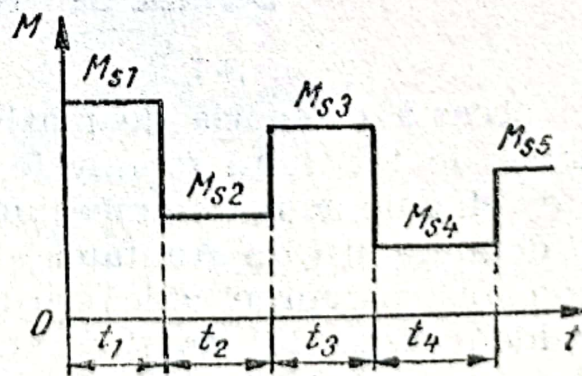


Fig. 3.7

Acest regim poate fi întâlnit la pompe centrifuge, ventilatoare, mașini de fabricat hârtie etc.

2. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE ÎN REGIM DE DURATĂ CU SARCINI ÎN TREPTE

La aceste mașini de lucru funcționarea este de durată, dar după intervale de timp relativ scurte (t_1, t_2, t_3, t_4) cuplul rezistent static ia diferite valori ($M_{s1}, M_{s2}, M_{s3} \dots$), așa cum rezultă din figura 3.7. Din această categorie de mașini fac parte: mașinile-unelte, la care cuplul rezistent static depinde de grosimea și lățimea șpanului tăiat de cuțit, mașinile de ridicat, transportoarele, conveierele etc.

3. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE ÎN REGIM INTERMITENT

Funcționarea acestor mașini este caracterizată printr-un timp de acționare t_a urmat de un timp de pauză t_p și de ciclul total de lucru t_c (fig. 3.8). În timpul perioadei de acționare (t_a) cuplul rezistent static poate fi constant (fig. 3.8, a) sau se poate modifica la intervale de timp scurte (fig. 3.8, b). La aceste mașini de acționare se definește durata relativă de acționare ($D_A\%$):

$$D_A[\%] = \frac{t_a}{t_a + t_p} \cdot 100 \quad (3.1)$$

care, în cazul din figura 3.8, b este:

$$D_A[\%] = \frac{t_{a1} + t_{a2} + t_{a3} + t_{a4}}{t_{a1} + t_{a2} + t_{a3} + t_{a4} + t_p} \cdot 100. \quad (3.2)$$

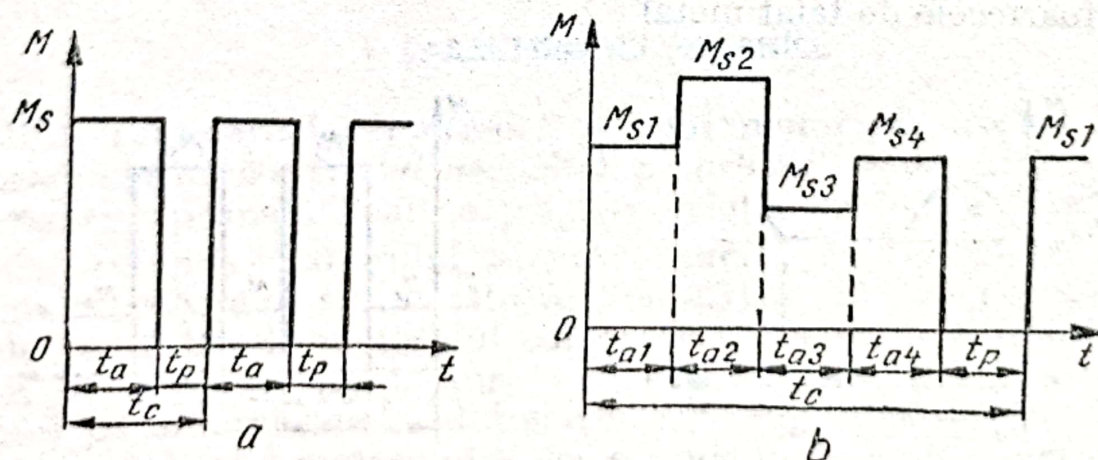


Fig. 3.8

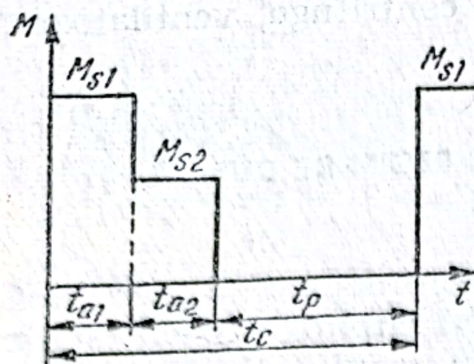


Fig. 3.9

Duratele relative de acțiune sînt de obicei standardizate, la fel ca și durata ciclului de funcționare. În R. S. România, duratele de acțiune standardizate sînt de 25% și 40%, iar durata ciclului standardizat de funcționare t_c este de 10 min.

Drept exemple de mașini de lucru din această categorie se pot da mașini de ridicat de diferite tipuri, excavatoare, unele mașini-unelte.

4. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE ÎN REGIM DE SCURTĂ DURATĂ

Aceste mașini sînt caracterizate printr-un timp de acțiune t_a cu cuplul rezistent constant sau în trepte (ca în fig. 3.9) și un timp de pauză t_p mai lung ca cel de acțiune. Din această categorie de mașini fac parte polizoarele din sculării, mecanismele de prindere a pieselor de prelucrat la mașini-unelte, servomotoarele de diferite tipuri etc.

5. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE ÎN REGIM PULSATORIU

Acestea sînt mașini de lucru care conțin în componența lor mecanisme bielă-manișelă. Ele funcționează după o curbă sinusoidală, ca în figura 3.4, sau parțial sinusoidală (fig. 3.10), cum este de exemplu la foarfecele de tăiat metal

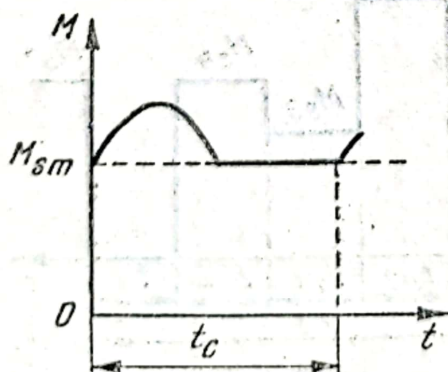


Fig. 3.10

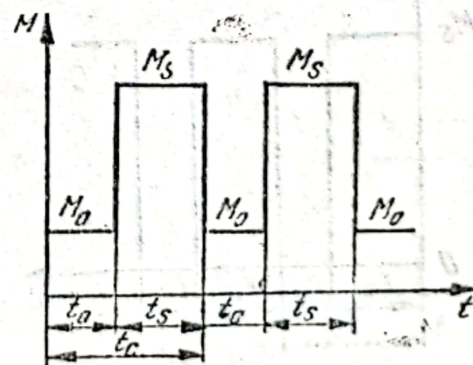


Fig. 3.11

6. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE CU ȘOCURI DE SARCINĂ

Funcționarea acestor mașini se caracterizează prin aceea că după perioade de mers în gol, în care cuplul de sarcină este M_0 , urmează perioade scurte în care cuplul static M_s crește de 3—4 ori și chiar mai mult față de M_0 (fig. 3.11). Din această categorie de mașini fac parte laminoarele, mașinile de ștanțat etc.

7. MAȘINI DE LUCRU CU FUNCȚIONARE NEREGULATĂ ÎN TIMP

Această categorie de mașini se confundă cu categoria de mașini prezentată în paragraful B.5, cuplul lor variind foarte neregulat în timp, ca în figura 3.5.

Capitolul 4

CARACTERISTICI MECANICE ȘI REGIMURI DE FUNCȚIONARE ALE MOTOARELOR ELECTRICE

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

1. CARACTERISTICI MECANICE

Prin *caracteristica mecanică* a unui motor electric se înțelege *dependența dintre cuplul dezvoltat pe arborele motorului și turația acestuia*, exprimată analitic printr-o relație de forma $M=f(n)$.

Cu excepția motorului sincron, caracteristicile mecanice ale tuturor motoarelor sînt *căzătoare* (fig. 4.1), adică la o creștere a cuplului pe arborele motorului corespunde o scădere a turației acestuia. La motorul sincron turația rămîne constantă, independent de cuplul pe arborele motorului său. De pe figură se observă că unui cuplu pe arborele motorului îi corespunde un anumit punct de func-

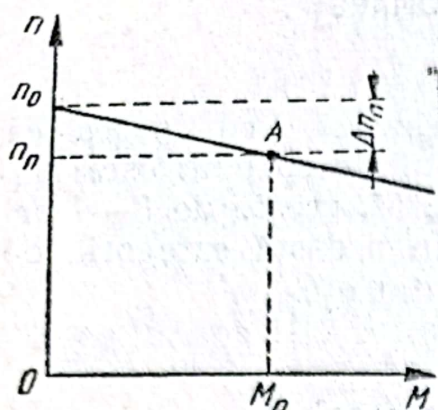


Fig. 4.1

ționare pe caracteristica mecanică și o anumită turație.

De exemplu, unui cuplu egal cu cuplul nominal M_n îi corespunde punctul de funcționare A pe caracteristica mecanică și o turație egală cu turația nominală n_n . Unui punct B de pe caracteristica mecanică, corespunzător unui cuplu $M=0$ (caz ideal pentru că se presupune că și cuplul de frecări este zero), îi corespunde o turație n_0 — numită *de mers în gol ideal*.

Diferența $\Delta n = n_0 - n_n$ se numește *cădere nominală de turație* și ea definește *rigiditatea caracteristicii mecanice*, adică înclinarea acesteia față de orizontală.

Gradul de rigiditate al unei caracteristici mecanice este dat de relația:

$$\delta_n[\%] = \frac{\Delta n}{n_n} \cdot 100 = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \cdot 100. \quad (4.1)$$

• În funcție de gradul de rigiditate, caracteristicile mecanice ale motoarelor electrice pot fi:

- *suprarigide* ($\delta_n = 0$), întâlnite la motoarele sincrone;
- *rigide* ($\delta_n \leq 10\%$), întâlnite la motoarele de curent continuu cu excitație derivație sau la motoarele asincrone;
- *semirigide* ($10\% < \delta_n \leq 20\%$), întâlnite la motoarele de curent continuu cu excitație mixtă și la unele motoare asincrone de construcție specială;
- *moi* ($\delta_n > 20\%$), întâlnite la motoare de curent continuu cu excitație serie.

• Caracteristicile mecanice ale motoarelor electrice se mai pot clasifica și în funcție de valorile parametrilor de care depind (tensiunea de alimentare a motorului, fluxul de excitație și rezistența din circuitul indusului, pentru motoarele de curent continuu, tensiunea de alimentare, frecvența tensiunii de alimentare și rezistența din circuitul rotorului al motorului, pentru motoarele asincrone).

Atunci când parametrii menționați au valoarea nominală, adică valoarea pentru care a fost proiectat motorul, caracteristicile mecanice se numesc **caracteristici mecanice naturale**.

Dacă unul sau mai mulți dintre parametrii menționați diferă de valoarea lor nominală, se obțin **caracteristici mecanice artificiale**.

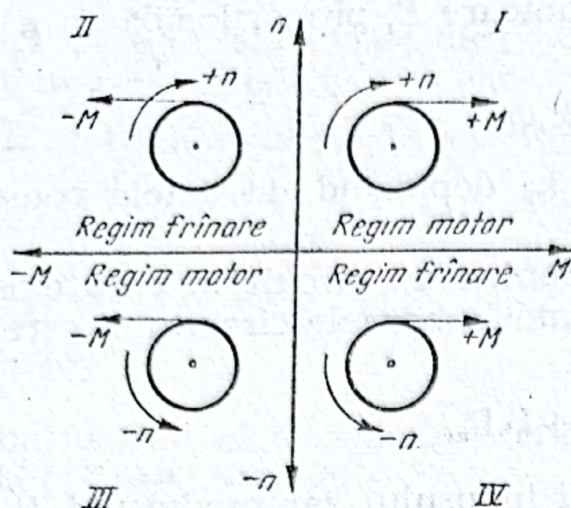


Fig. 4.2

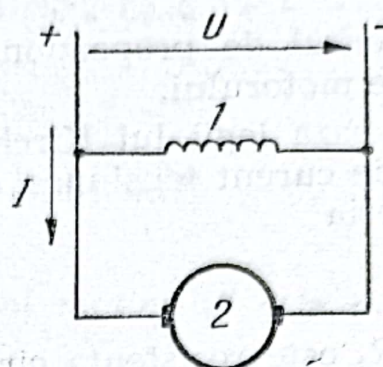


Fig. 4.3

2. REGIMURI DE FUNCȚIONARE

Se știe că orice mașină electrică clasică poate funcționa în *regim de motor* sau în *regim de generator* (sau de *frinare*).

- În **regim de motor** mașina este alimentată cu energie electrică, se rotește și dezvoltă un cuplu egal cu cuplul rezistent total (static și dinamic) raportat la arborele motorului. În acest caz, turația și cuplul dezvoltat de motor au *același sens*, așa cum se arată în figura 4.2 (cadranale I și III). În cadranul III mașina funcționează în regim de motor, dar în sens invers de rotație față de cadranul I.

- În cadranele II și IV cuplurile fiind de *sens invers* față de viteză, mașina funcționează în **regim de frinare**.

B. CARACTERISTICILE MECANICE ȘI REGIMURILE DE FRÎNARE ALE MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE DERIVAȚIE

1. CARACTERISTICA MECANICĂ NATURALĂ

Schema de principiu a unui motor de curent continuu cu excitație derivație este indicată în figura 4.3, pe care s-a notat cu 1 înfășurarea de excitație (inductoare) a motorului, iar cu 2 — indusul (rotorul); U este tensiunea de alimentare a motorului de la rețea, iar I — curentul prin indus. Se știe că rotind indusul mașinii cu o turație n , în cazul excitării mașinii cu un flux Φ , la bornele in-

indusului apare o tensiune electromotoare E , proporțională cu n și Φ , adică

$$E = k_e \Phi n, \quad (4.2)$$

coeficientul de proporționalitate k_e depinzând de datele constructive ale motorului.

Pe baza legii lui Kirchhoff, pentru un circuit în care există o sursă de curent tensiunea U aplicată la bornele circuitului este dată de relația

$$U = E + I \cdot R_a, \quad (4.3)$$

unde R_a este rezistența circuitului indusului, iar produsul $I \cdot R_a$ este căderea de tensiune din circuitul indusului.

Pe de altă parte, se știe că cuplul dezvoltat de un motor de curent continuu este proporțional cu fluxul de excitație al motorului și cu curentul ce străbate indusul, adică

$$M = k_m \Phi I = C_m I. \quad (4.4)$$

Notînd de asemenea, $E = C_e n$, unde $C_e = k_e \Phi$ (cînd Φ este constant), relația (4.3) devine

$$n = \frac{U}{C_e} - \frac{M R_a}{C_e C_m}. \quad (4.5)$$

Se observă că relația (4.5) exprimă dependența $n = f(M)$, deci reprezintă *expresia analitică a caracteristicii mecanice a motorului*. După cum se vede, ea reprezintă o dreaptă (fig 4.1), deoarece atît U cît și R_a au de obicei valori constante. Dacă în expresia (4.5) se consideră că $M = 0$, rezultă că $n_0 = \frac{U}{C_e}$ reprezintă *turația de mers în gol ideal a motorului*.

Constanta C_e poate fi determinată din relația (4.5) ținîndu-se seamă și de (4.4) care poate fi scrisă $n = \frac{U - I R_a}{C_e}$, de unde rezultă

$$C_e = \frac{U - I R_a}{n},$$

în care se introduc valorile parametrilor nominali ai motorului, luați după catalogul mașinii sau tablăta indicatoare de pe mașină: tensiunea nominală U_n , curentul nominal I_n , turația nominală n_n și rezistența R_a a indusului motorului. Cînoscîndu-se C_e și U_n , se determină turația de mers în gol ideal a motorului și deci punctul

în care caracteristica mecanică taie axa ordonatelor. Un al doilea punct al caracteristicii mecanice este dat de cuplul nominal $M_n = C_m I_n$ și turația nominală n_n . Se menționează că $C_m = \frac{C_e}{1,03}$.

2. CARACTERISTICI MECANICE ARTIFICIALE

Considerînd că fluxul de excitație Φ al motorului este variabil, relația (4.5) se poate scrie

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{MR^2}{k_e k_m \Phi^2}. \quad (4.6)$$

Din această ecuație se observă că parametrii ce pot fi modificați în vederea obținerii caracteristicilor mecanice artificiale sînt: tensiunea de alimentare U , rezistența circuitului indusului motorului R_a și fluxul de excitație Φ .

• Prin modificarea rezistenței circuitului indusului care se realizează introducînd o rezistență R_s în serie cu circuitul indusului, rezistența totală a acestuia este $R = R_a + R_s$, iar relația (4.6) devine:

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{M(R_a + R_s)}{k_e k_m \Phi^2}. \quad (4.7)$$

Se observă deci, că prin modificarea rezistenței din circuitul indusului motorului căderea de turație a motorului crește de la $\Delta n = \frac{MR_a}{k_e k_m \Phi^2}$ la $\Delta n_1 = \frac{M(R_a + R_s)}{k_e k_m \Phi^2}$. Caracteristica artificială 2 care se obține în acest caz este mai înclinată (fig. 4.4).

Se mai observă că turația de mers în gol ideal $n_0 = \frac{U}{k_e \Phi}$ nu se modifică. Înclinarea caracteristicii mecanice artificiale este cu atît mai mare cu cît rezistența suplimentară R_s este mai mare. Așa cum se vede pe figură, pentru un același cuplu M_n dezvoltat de motor și pentru diferite valori ale rezistenței R_s se pot obține diferite turații de lucru n_n, n_1, n_2 , deci se poate face reglarea turației motorului.

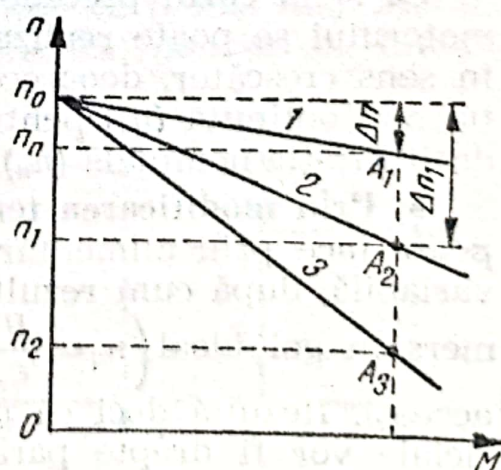


Fig. 4.4

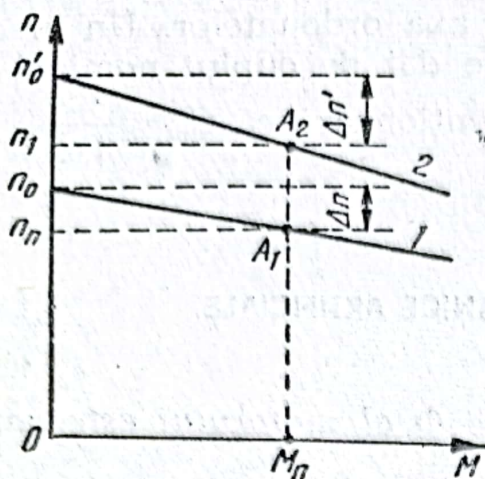


Fig. 4.5

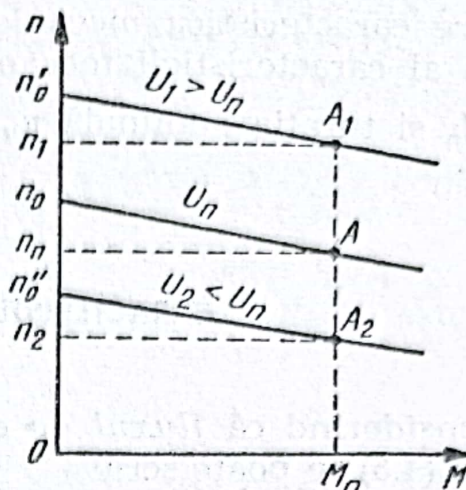


Fig. 4.6

• Prin modificarea fluxului de excitație Φ al motorului, care se realizează introducând o rezistență în serie cu circuitul de excitație al motorului, se observă din relația (4.6) că se modifică atât turația de mers în gol ideal a acestuia $\left(n_0 = \frac{U}{k_e \Phi_1}\right)$ cât și căderea de turație $\left(\Delta n' = \frac{MR_a}{k_e \Phi_1^2}\right)$. Deoarece fluxul de excitație Φ se poate modifica numai în sens descrescător, rezultă că atât turația de mers în gol ideal, cât și căderea de turație vor crește, iar caracteristica mecanică artificială 2 va fi situată deasupra caracteristicii mecanice naturale 1 (fig. 4.5). Se observă că creșterea căderii de turație $(\Delta n')$ este mai mare decât cea a turației de mers în gol (n_0') , deoarece căderea de turație se modifică invers proporțional cu pătratul fluxului de excitație Φ .

Ca și în cazul precedent, prin modificarea fluxului inductor al motorului se poate realiza o *reglare a turației motorului* și anume în sens crescător, deoarece așa cum se observă de pe figură, turația nou obținută (n_1) pentru același cuplu de sarcină este mai mare decât turația nominală (n_n) .

• Prin modificarea tensiunii de alimentare a motorului, care se poate face prin alimentarea motorului de la o sursă de tensiune variabilă, după cum rezultă din relația (4.6) se modifică turația de mers în gol ideal $\left(n_0 = \frac{U}{C_e}\right)$ în timp ce căderea de turație rămâne aceeași. Rezultă deci că în acest caz caracteristicile mecanice artificiale vor fi drepte paralele cu caracteristica mecanică naturală (fig. 4.6) și anume: situate deasupra caracteristicii mecanice naturale, atunci când tensiunea de alimentare $U_1 > U_n$ și sub caracteris-

tica mecanică naturală, atunci cînd tensiunea de alimentare $U_2 < U_n$. Ca și în cazurile precedente, se observă că prin modificarea tensiunii de alimentare se obține un *reglaj de turație în limite largi*, atît în sens crescător cît și descrescător.

○ **Observație.** În realitate, aceste concluzii sînt strict valabile în cazul motorului de curent continuu cu excitație separată. În cazul motorului cu excitație derivație, ținînd seama de schema principală din figura 4.3, se observă că modificarea tensiunii de alimentare duce și la modificarea curentului de excitație și deci și la modificarea fluxului de excitație și prin urmare și la modificarea înclinării caracteristicii mecanice. Practic, însă, această modificare în sensul creșterii fluxului influențează puțin asupra rigidității caracteristicii mecanice.

3. REGIMURI DE FRÎNARE

Frînarea motoarelor de curent continuu cu excitație derivație și separată se poate realiza în trei moduri distincte: *frînare cu recuperare de energie*, *frînare dinamică* și *frînare în regim de cuplare inversă*.

a. Frînarea cu recuperare de energie electrică

Pentru a înțelege sensul fizic al acestui regim de frînare, se consideră cazul unui vehicul acționat electric care coboară în pantă. Considerăm că punctul inițial de funcționare este A (fig. 4.7), căruia îi corespunde cuplul de regim M_r și viteza de regim n_r . Cuplul rezistent dat de vehicul fiind negativ la coborîre ajută mișcarea motorului și deci cuplul dezvoltat de motor va fi mai mic. Motorul funcționînd pe aceeași caracteristică mecanică, punctul de funcționare se va deplasa de la A spre B, viteza motorului crescînd. Atunci cînd cuplul dezvoltat de motor $M = 0$, motorul se va roti cu turația de mers în gol ideal n_0 . Dacă sub acțiunea cuplului rezistent motorul se accelerează și mai mult, cuplul dezvoltat de motor devine negativ, deci de frînare, iar turația, motorului $n > n_0$. În această situație, motorul fiind rotit sub influența cuplului re-

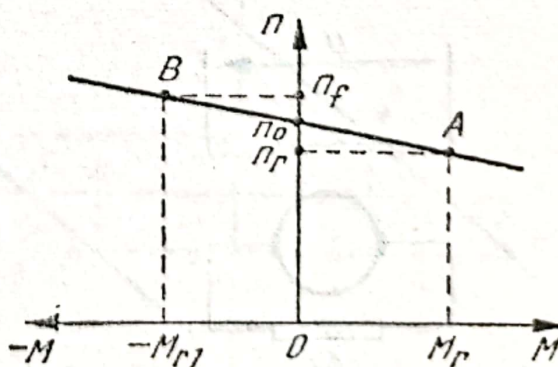


Fig. 4.7

zistent static și fiind excitat, va funcționa în regim de generator, debitând energie electrică în rețea. De aceea se spune că motorul funcționează în regim de generator cu recuperare de energie electrică.

După cum se observă, în punctul B , căruia îi corespunde un cuplu de frînare M_f , turația de lucru $n_f > n_0$, ceea ce constituie un dezavantaj, frînarea făcându-se la turații mari.

b. Frînarea dinamică

Această frînare se obține decuplând indusul motorului de la rețea și cuplându-l pe o rezistență de frînare R_f , înfășurarea de excitație rămânând alimentată în continuare. Se obține schema din figura 4.8 în locul schemei din figura 4.3, de la care se pleacă. Ținându-se seama că indusul motorului este nealimentat, deci $U=0$, și că în circuitul său intervine rezistența suplimentară R_f , expresia analitică a caracteristicii mecanice dată de relația (4.5) devine:

$$M = \frac{C_e C_m n}{R_a + R_f}, \quad (4.8)$$

iar motorul va trece să funcționeze de pe caracteristica mecanică 1 pe caracteristica de frînare 2 (fig. 4.9), definită de relația (4.8), care trece prin originea O și este paralelă cu caracteristica mecanică artificială 1. Trecerea de la funcționarea în regim de motor (punctul A) în punctul B pe caracteristica de frînare se face la aceeași turație n_r . Cuplul inițial de frînare M_f este maxim și el scade treptat pe măsură ce punctul de funcționare se deplasează din B spre O , adică turația motorului scade de la turația inițială n_r spre zero.

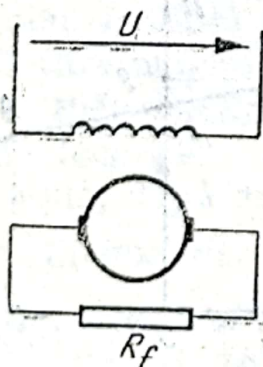


Fig. 4.8

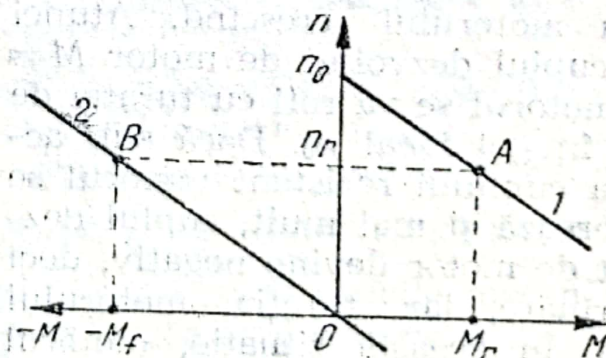


Fig. 4.9

c. Frînarea prin cuplare inversă

Acest regim de frînare se obține prin schimbarea polarității tensiunii de alimentare. În acest caz turația de mers în gol ideal își schimbă semnul ($n_0 = -\frac{U}{C_e}$). De asemenea, își schimbă semnul și cuplul dezvoltat de motor, deoarece ecuația (4.5) devine $n = -n_0 - \frac{MR_a}{C_e C_m}$, de unde rezultă că

$$M = - \frac{C_e C_m (n + n_0)}{R_a}$$

Ca și în cazul precedent, pentru limitarea valorii inițiale a cuplului de frînare, în circuitul indusului motorului se introduce o rezistență suplimentară de frînare R_f , care face ca cuplul inițial de frînare să fie dat de relația:

$$M = - \frac{C_e C_m (n + n_0)}{R_a + R_f} \quad (4.9)$$

După cum se observă în figura 4.10, trecerea din regim de motor, din punctul A de pe caracteristica mecanică 1, în regim de frînare în punctul B pe caracteristica mecanică de frînare 2, se face la turația constantă n_r . Cuplul de frînare M_f corespunzător punctului B fiind mare, motorul va fi frînat repede și punctul de funcționare al motorului se va deplasa din B spre C. Dacă ajuns în C (deci la turația zero) motorul este decuplat de la rețea, el se va opri. Dacă rămîne cuplat în continuare, sub influența cuplului de frînare dezvoltat de motor, care în punctul C este mai mare decît cuplul de regim, turația își schimbă sensul și punctul de funcționare se va deplasa în continuare din C spre D unde funcționarea motorului se stabilizează, deoarece cuplul dezvoltat de motor devine egal cu cuplul de regim M_r (impus de mașina de lucru).

Ținîndu-se seama de convențiile indicate în figura 4.2, se observă că la trecerea

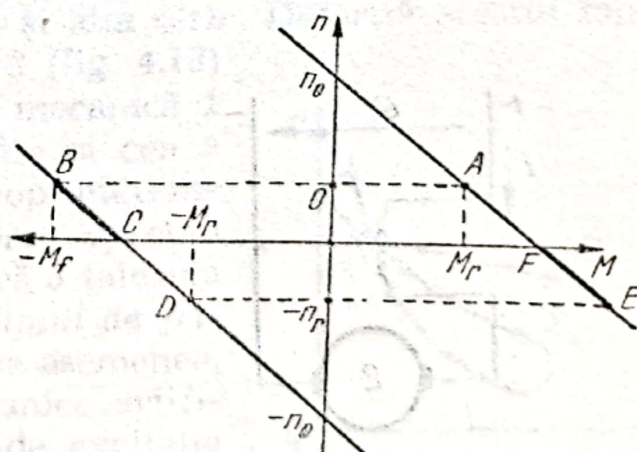


Fig. 4.10

funcționării motorului din punctul A în B , apoi în C și D , motorul va funcționa în *regim de frînare prin cuplare inversă* numai pe porțiunea BC a caracteristicii mecanice 2. Porțiunea CD a caracteristicii corespunde funcționării în *regim de motor* cu sens invers de rotație. Dacă în cazul funcționării motorului în punctul D se inversează din nou polaritatea tensiunii de alimentare, motorul va trece cu funcționarea în punctul E . Din punctul E pînă în F va funcționa în regim de cuplare inversă, apoi din F în A din nou în regim de motor cu sens direct de rotație.

C. CARACTERISTICILE MECANICE ȘI REGIMURILE DE FRÎNARE ALE MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE SERIE ȘI MIXTĂ

1. MOTOARE DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE SERIE

Schema de principiu a unui motor cu excitație serie este indicată în figura 4.11. Deoarece curentul de excitație se modifică cu curentul de sarcină I al motorului, odată cu acesta se modifică și fluxul său de excitație. Ca urmare, *caracteristica mecanică* a motorului dată în relația (4.6) nu va fi o dreaptă, ci, așa cum se poate demonstra, are aproximativ forma unei hiperbole echilaterale (fig. 4.12). Fără a insista prea mult asupra acestui tip de motor cu o

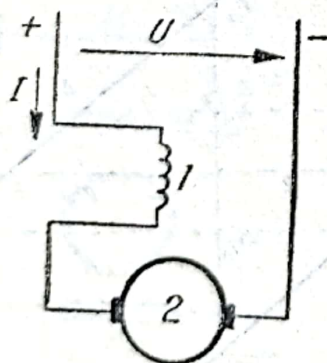


Fig. 4.11

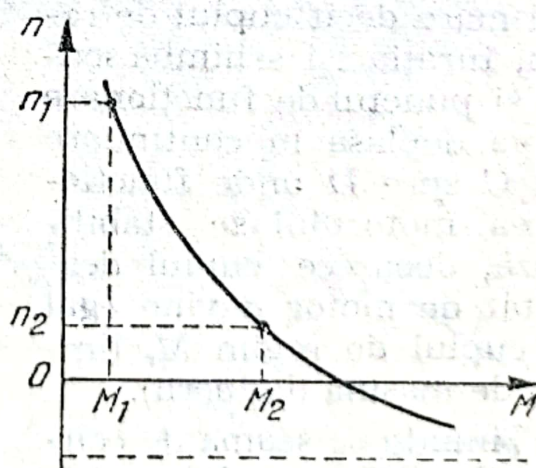


Fig. 4.12

utilizare practică mai restrînsă, examinînd caracteristica mecanică se pot desprinde unele concluzii privind particularitățile lui de funcționare:

— la cuplu de sarcină mic, apropiat de cuplul de mers în gol, motorul se rotește cu turație mare, uneori inadmisibilă din punctul de vedere al rezistenței sale mecanice. Datorită acestui fapt, *motorul serie nu poate fi folosit la funcționarea în gol de sarcină*;

— caracteristica mecanică a motorului este *moale*, ceea ce îl face utilizabil în bune condiții atunci cînd se cere o funcționare a mașinii de lucru la turații mici pentru cupluri rezistente mari și invers. Datorită acestui fapt, se spune că *motorul serie este auto-regulator de turații*;

— deoarece caracteristica mecanică nu taie axa ordonatelor, motorul serie obișnuit *nu poate funcționa în regim de frînare cu recuperare de energie*;

— pentru acest motor se pot obține caracteristici mecanice artificiale numai prin modificarea rezistenței din circuitul indusului și prin modificarea tensiunii de alimentare, fluxul de excitație modificîndu-se cu sarcina pe arborele motorului;

— regimurile de frînare ale motorului serie sînt *regimul de frînare dinamică* și *regimul de frînare prin cuplare inversă*, care se obțin ca și în cazul motorului derivație.

2. MOTOARE DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE MIXTĂ

După cum se știe, aceste motoare sînt prevăzute cu două înfășurări de excitație, una derivație și alta serie. Datorită acestui fapt, ele au o caracteristică mecanică 3 (fig. 4.13) intermediară între caracteristica mecanică 1 a motorului cu excitație derivație și cea a motorului serie, 2, preluînd și proprietăți intermediare între cele două motoare. Așa cum se observă, caracteristica mecanică 3 taie axa ordonatelor, deci *este posibil regimul de frînare cu recuperare de energie*. De asemenea, se pot obține caracteristici mecanice artificiale prin modificarea fluxului de excitație derivație.

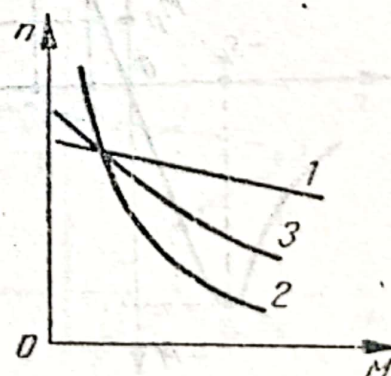


Fig. 4.13

D. CARACTERISTICILE MECANICE ȘI REGIMURILE DE FRINARE ALE MOTOARELOR ASINCRONE

1. CARACTERISTICA MECANICĂ NATURALĂ

Anterior (vezi cap. 1, E 3) s-a indicat modul de obținere a expresiei analitice a caracteristicii mecanice a motorului asincron. S-a arătat că această expresie este de forma (1.23), adică:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}},$$

unde $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ este alunecarea motorului asincron, iar M_k și s_k sînt *cuplul critic* și respectiv *alunecarea critică* a motorului asincron, date de relațiile:

$$M_k = \pm K_1 \frac{V_1^2}{f_1^2}; \quad (4.10)$$

$$s_k = \pm K_2 \frac{r_2}{l_1}, \quad (4.11)$$

în care K_1 și K_2 sînt constante care depind de parametrii construc-tivi ai motorului, V_1 este tensiunea de alimentare pe o fază a cir-cuitului statoric, f_1 este frecvența tensiunii de alimentare și r_2 este rezistența circuitului rotoric, raportată la stator.

○ **Notă.** În expresia (1.23) ca-racteristica mecanică a motorului asincron este dată sub forma $M=f(s)$, care este mai simplă de-cît forma $M=f(n)$. Pe baza rela-ției alunecării $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$, se poate trece însă ușor și la forma $M=f(n)$.

Caracteristica mecanică a mo-torului asincron dată de ecuația (1.23) este reprezentată în figura 4.14. Se observă că în cadranul I cuplul motorului crește aproape liniar cu alunecarea de la 0 pînă în punctul A, corespunzător valo-rilor critice s_k și M_k . Dacă alune-carea $s > s_k$, cuplul motorului scade.

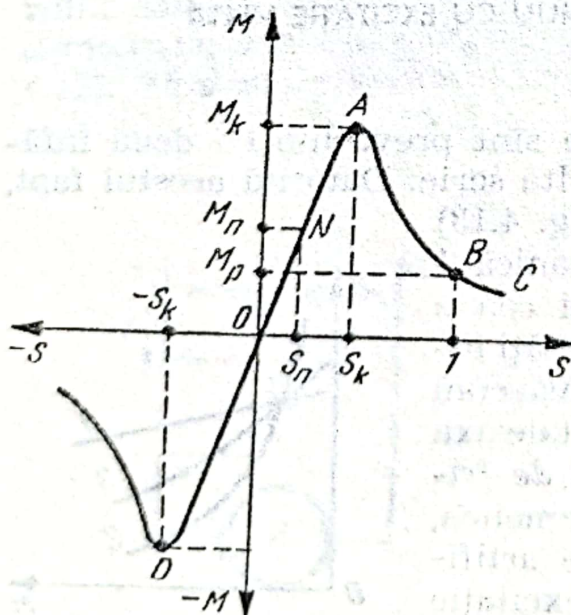


Fig. 4.14

Din relația alunecării se observă că pentru $s=1$, turația motorului $n=0$. Deci punctul B corespunde pornirii motorului, cuplul motorului fiind egal cu cel de pornire ($M=M_p$).

Dacă $s>1$ se vede că turația n devine negativă, cuplul rămânând pozitiv, deci pe porțiunea BC motorul funcționează în regim de frînare.

La $s<1$, pe porțiunea OA cuplul crește cu alunecarea (deci crește odată cu scăderea turației) și, ca atare, funcționarea motorului este stabilă. Pe porțiunea AB , la scăderea cuplului crește alunecarea, deci scade turația și motorul tinde să se oprească (punctul B), cu alte cuvinte funcționarea motorului este instabilă.

Deoarece motorul funcționează stabil numai pe porțiunea OA , putînd dezvolta un cuplu maxim egal cu cuplul critic, pentru a se evita oprirea motorului atunci cînd cuplul rezistent static crește în mod accidental peste valoarea M_k , motorul asincron se proiectează astfel încît cuplul său nominal să fie mai mic decît M_k (fig. 4.14). Raportul $\lambda=M_k/M_n$, care se numește *coeficient de suprasarcină al motorului*, se ia între 2 și 2,5 pentru motorul asincron și el arată că pentru a se evita trecerea funcționării motorului pe porțiunea instabilă, se impune ca încărcarea la arbore să nu depășească 2—2,5 ori cuplul nominal.

Pentru $s<0$, caracteristica mecanică este situată în cadranul III și corespunde funcționării motorului asincron în regim de generator, deci în regim de frînare, deoarece cuplul este negativ și turația pozitivă.

După cum s-a arătat, pe baza expresiei alunecării se poate trece la reprezentarea caracteristicii mecanice naturale a motorului asincron sub forma $M=f(n)$. În adevăr, se observă că alunecării $s=1$ îi corespunde turația $n=0$, iar pentru $s>1$ corespund turații negative. De asemenea, pentru $s=0$, turația $n=n_0$ (turația de sincronism), iar pentru alunecări negative corespunde turația $n_f>n_0$. Făcînd ca ordonata OM să treacă prin punctul de alunecare $s=1$, adică de turație $n=0$, se obține caracteristica mecanică naturală din figura 4.15.

Pe această figură, porțiunea OA corespunde funcționării stabile, iar porțiunea AB — funcționării instabile. Ramura din cadranul II corespunde funcționării în re-

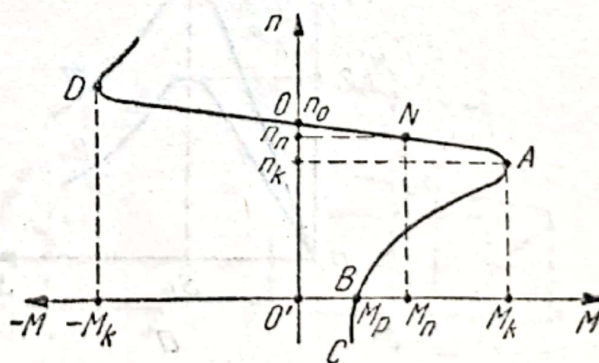


Fig. 4.15

gim de generator, iar porțiunea BC — regimului de cuplare inversă.

○ **Observație.** Porțiunea de caracteristică AD se aseamănă mult cu caracteristica motorului derivație de curent continuu, fiind aproape liniară și rigidă.

2. CARACTERISTICI MECANICE ARTIFICIALE

Din ecuația (1.23) se constată că obținerea caracteristicilor mecanice artificiale este posibilă fie prin modificarea cuplului critic M_k , fie prin modificarea alunecării critice s_k . Din relațiile (4.10) și (4.11) se observă că aceste mărimi pot fi modificate prin schimbarea tensiunii de alimentare V_1 , prin modificarea rezistenței circuitului rotor r_2 și prin modificarea frecvenței f_1 a tensiunii de alimentare.

● **Prin modificarea tensiunii de alimentare** se modifică numai cuplul critic M_k . Dacă 1 este caracteristica mecanică naturală (fig. 4.16, a), corespunzătoare tensiunii nominale V_1 de alimentare a statorului motorului, atunci pentru o tensiune $V'_1 < V_1$, cuplul critic scade ($M_{k2} < M_{k1}$), caracteristica artificială avînd forma 2. În figura 4.16, b se prezintă aceleași caracteristici în coordonate $n=f(M)$.

○ **Notă.** La scăderea tensiunii de alimentare cuplul critic scăzînd cu pătratul tensiunii de alimentare, se micșorează în aceeași măsură și coeficientul de suprasarcină λ al motorului, ceea ce diminuează mult posibilitatea motorului de a prelua unele suprasarcini accidentale pe arbore.

● **Modificarea rezistenței din circuitul rotor** se realizează prin introducerea unor rezistențe suplimentare egale pe fiecare fază a circuitului rotor. Acest lucru este posibil numai la motoarele asincrone cu rotor bobinat, deoarece la motoarele asincrone cu rotor

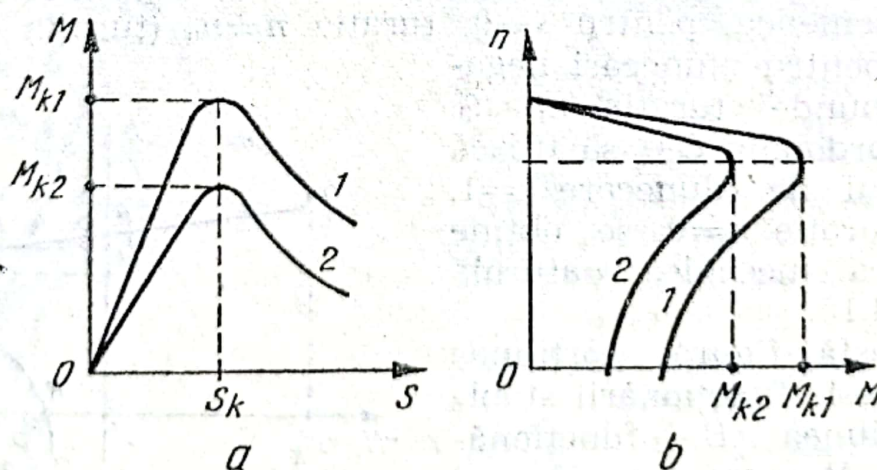


Fig. 4.16

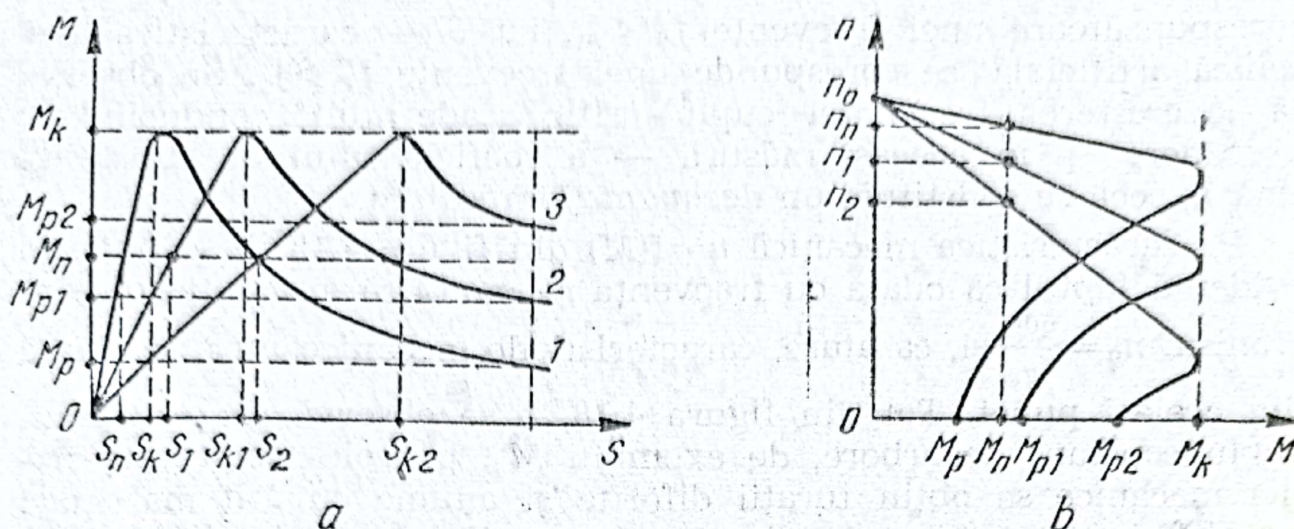


Fig. 4.17

în scurtcircuit circuitul rotoric nu este accesibil. Din relațiile (4.10) și (4.11) se observă că în acest caz se modifică numai alunecarea critică, care crește proporțional cu rezistența introdusă. În figurile 4.17, a și b sînt reprezentate caracteristicile mecanice naturale 1 și artificiale 2 și 3, obținute prin introducerea de rezistențe în circuitul rotoric. Se observă că, cu cît aceste rezistențe sînt mai mari, crește și cuplul de pornire al motorului: $M_{p2} > M_{p1} > M_p$. Bineînțeles, această creștere este posibilă numai pînă la valoarea $M_p = M_k$, obținută pentru $s_k = 1$. Peste această valoare, la o creștere a rezistenței din circuitul rotoric, cuplul de pornire scade.

Din figura 4.17, b se observă că pentru un cuplu M_n , fiecărei caracteristici mecanice îi corespunde o anumită turație (n_n , n_1 , n_2), descrescătoare cu rezistența în circuitul rotoric. Rezultă că introducerea de rezistențe suplimentare permite reglarea turației motorului asincron, ca și în cazul motorului de curent continuu derivație.

• **Modificarea frecvenței tensiunii de alimentare** duce, așa cum am văzut din relațiile (4.10) și (4.11), atît la modificarea alunecării critice, invers proporțional cu frecvența, cît și la modificarea cuplului critic, invers proporțional cu pătratul frecvenței. Caracteristicile mecanice sînt reprezentate în figurile 4.18, a și b, în care 1 este caracteristica mecanică naturală, corespunzătoare frecvenței f_1 , 2 este caracteristica mecanică artificială

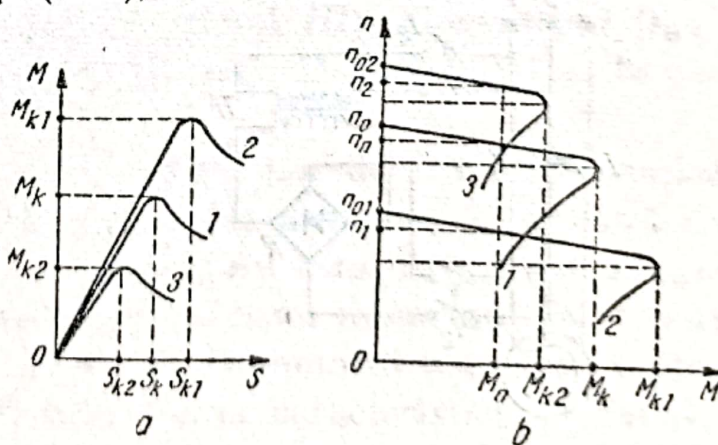


Fig. 4.18

corespunzătoare unei frecvențe $f_1' < f_1$, iar 3 — caracteristica mecanică artificială ce corespunde unei frecvențe $f_1'' > f_1$. Se observă că la creșterea frecvenței cuplul critic scade mult, conducând, la o scădere — în aceeași măsură — a coeficientului de suprasarcină λ , ceea ce constituie un *dezavantaj* important.

Pe caracteristica mecanică $n=f(M)$ din figura 4.18, *b* se pune în evidență faptul că odată cu frecvența se modifică și turația de sincronism $n_0 = \frac{60f_1}{q}$ și, ca atare, caracteristicile mecanice nu mai pleacă din același punct. Tot din figura 4.18, *b* se observă că pentru un cuplu constant pe arbore, de exemplu M_n , pe cele trei caracteristici mecanice se obțin turații diferite și anume cu atât mai mari cu cât frecvența este mai ridicată.

3. REGIMURI DE FRÎNARE

Ca și la motoarele de curent continuu derivație, și în cazul motoarelor asincrone trifazate se pot obține regimuri de frînare: cu *recuperare de energie electrică*, frînare *dinamică* și frînare *prin cuplare inversă*.

- De pe figura 4.15 nu este dificil de observat că **regimul de frînare cu recuperare de energie** pentru motorul asincron se obține la fel ca la motorul de curent continuu derivație.

- **Regimul de frînare dinamică** în cazul motorului asincron se obține prin decuplarea statorului motorului de la rețeaua de alimentare și alimentarea a două faze ale statorului cu curent continuu. În acest scop se realizează schema 4.19. La funcționarea nor-

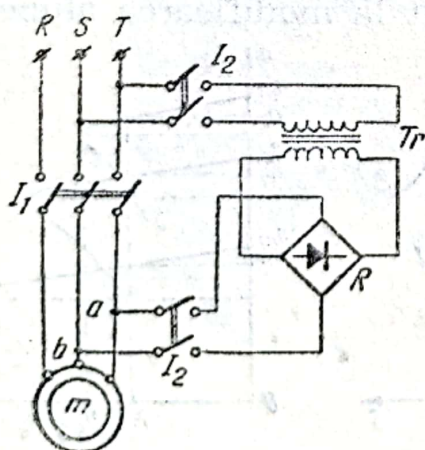


Fig. 4.19

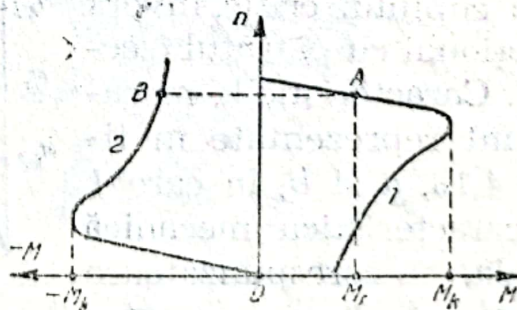


Fig. 4.20

mală, în regim de motor, întrerupătorul I_1 este închis, iar I_2 — deschis. Pentru trecerea în regim de frînare dinamică, se deschide I_1 și imediat se închid întrerupătoarele I_2 . Prin aceasta se alimentează primarul transformatorului T_r în secundarul căruia se află montată o punte redresoare R . La bornele de ieșire ale punții redresoare se obține o tensiune continuă cu care sînt alimentate două faze ale circuitului statoric în punctele a și b .

Motorul fiind în mișcare și fiind excitat cu curent continuu pe două faze, va funcționa în regim de generator (cadranul II, fig. 4.15), însă fiind decuplat de la rețea, tinde să se oprească. Caracteristica mecanică a motorului în această situație este de forma 2 (fig. 4.20). Trecerea de la funcționarea de motor (punctul A de pe caracteristica 1) la funcționarea în regim de frînare dinamică se face plecînd din A și trecînd în punctul B la turație practic constantă. Din punctul B se deplasează spre O, cînd motorul atinge turația zero.

• **Regimul de frînare prin cuplare inversă** la motorul asincron se obține prin inversarea legăturilor a două faze ale statorului. În acest caz, funcționarea motorului trece pe caracteristica mecanică 2, din punctul A în B (fig. 4.21). Pe porțiunea BC motorul funcționează în regim de cuplare inversă, apoi trece din nou în regim de motor cu sens invers de rotație (cadranul III). Comparînd figurile 4.21 și 4.10 se observă că procesul se desfășoară la fel ca în cazul motorului derivație.

○ **Observație.** Din prezentarea regimurilor de frînare dinamică și prin cuplare inversă în cazul motorului asincron, se observă că la trecerea pe caracteristicile de frînare nu este obligatorie folosirea rezistențelor de frînare, cum era în cazul motorului de curent continuu derivație și aceasta deoarece la motorul asincron cuplul inițial de frînare este limitat, prin forma caracteristicii mecanice, la valoarea cuplului M_k .

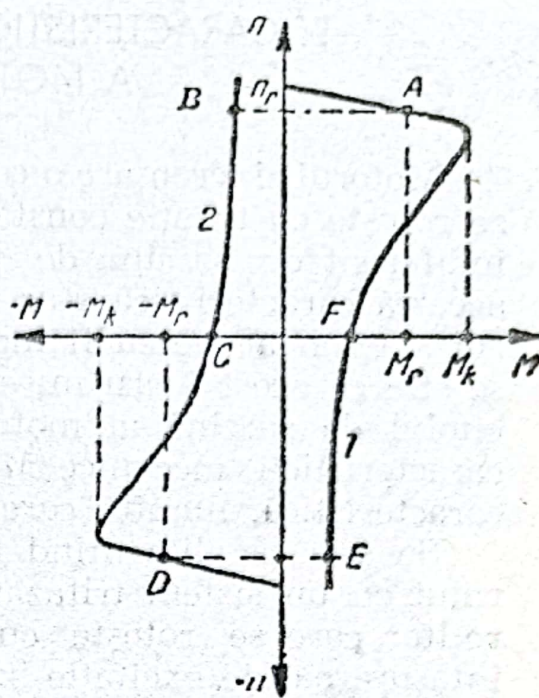


Fig. 4.21

E. CARACTERISTICA MECANICĂ UNGHIULARĂ A MOTORULUI SINCRON

Motorul sincron are o *caracteristică mecanică suprarigidă*, adică se rotește cu turație constantă, egală cu turația de sincronism n_0 , indiferent de sarcina de pe arborele său (fig. 4.22). Examinînd această caracteristică s-ar putea trage concluzia greșită că motorul sincron ar putea fi încărcat cu un cuplu oricît de mare. Or, se știe că acest lucru nu este posibil. Pentru a se putea delimita cuplul de sarcină al motorului sincron, se impune ca în locul caracteristicii mecanice $M=f(n)$ să se folosească un alt tip de caracteristică, numită *caracteristică mecanică unghiulară*.

Se știe că alimentînd înfășurarea statorică trifazată a motorului cu un sistem trifazat de tensiuni, apare un cîmp magnetic rotitor care se rotește cu viteza sincronă n_0 . Pe de altă parte, înfășurarea de excitație rotorică, alimentată cu curent continuu, creează și ea un cîmp. Antrenînd rotorul motorului, printr-un mijloc oarecare, pînă în apropierea turației de sincronism, există posibilitatea ca motorul să se *sincronizeze*, datorită tendinței celor două cîmpuri de a se roti cu aceeași turație (sincronă). Mașina funcționează în continuare în regim de motor, deoarece rotorul e obligat să se rotească cu turația de sincronism n_0 . Cele două cîmpuri se rotesc cu aceeași turație, însă cîmpul rotoric este decalat în urma cîmpului statoric cu un unghi θ . Acest unghi, numit *unghi intern al motorului*, depinde de cuplul rezistent la arborele motorului.

Se demonstrează că între cuplul motor care echilibrează cuplul rezistent și unghiul intern există relația:

$$M = M_{\max} \cdot \sin \theta, \quad (4.12)$$

unde $M_{\max}$ este o constantă ce depinde de parametrii constructivi ai motorului și de tensiunile de alimentare statorice și rotorice.

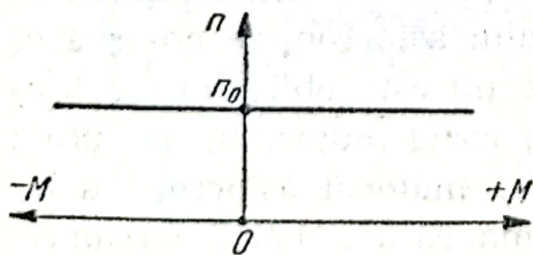


Fig. 4.22

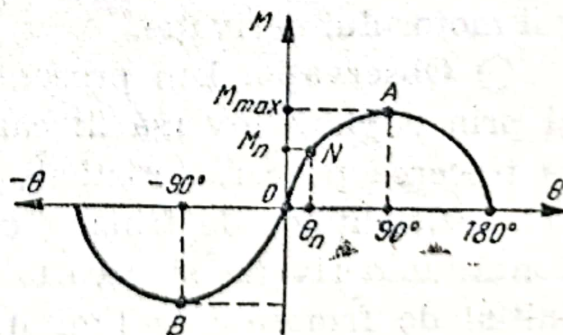


Fig. 4.23

Expresia (4.12) care dă dependența $M=f(\theta)$ este expresia caracteristicii mecanice unghiulare a motorului sincron. Această caracteristică este reprezentată în figura 4.23 și se observă că pentru $\theta=90^\circ$, $M=M_{max}$.

Ca și la motorul asincron, se disting și aici o porțiune de funcționare stabilă (OA), pentru unghiuri interne θ cuprinse între 0° și 90° , și o porțiune de funcționare instabilă, pentru unghiuri interne θ cuprinse între 90° și 180° . Porțiunea de caracteristică din cadranul III corespunde regimului de funcționare ca generator (regim de frînare). Și în acest caz, dacă cuplul rezistent la arborele motorului este mai mare decât M_{max} , motorul se oprește. De aceea, și la acest tip de motor cuplul nominal pentru care se proiectează trebuie limitat în vederea asigurării unui coeficient de suprasarcină $\lambda = \frac{M_{max}}{M_n}$ cuprins între 2,5 și 3.

Motorul sincron poate fi frînat dinamic sau prin cuplare inversă, aceasta realizându-se ca și în cazul motorului asincron. De obicei se preferă folosirea regimului de frînare dinamică.

○ **Menționăm** că pornirea motorului sincron se face mai dificil decât la alte tipuri de motoare, actualmente fiind utilizate scheme speciale de comandă, care permit sincronizarea automată a motorului.

Capitolul 5

ALEGEREA MOTOARELOR ELECTRICE DE ACȚIONARE

A. ALEGEREA MOTORULUI DE ACȚIONARE ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICA MECANICĂ A MAȘINII DE LUCRU

Un sistem de acționare se consideră că poate funcționa atunci când caracteristica mecanică 1 a motorului (fig. 5.1) se intersectează cu caracteristica mecanică 2 a mașinii de lucru într-un punct A, situat în cadranul I, corespunzător funcționării mașinii în regim de motor. Se spune că punctul de intersecție A este un *punct de funcționare stabilă a sistemului de acționare*. Se observă că dacă

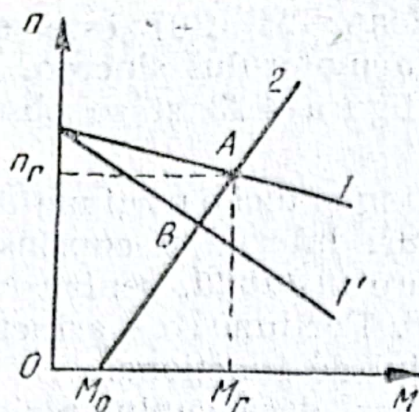


Fig. 5.2

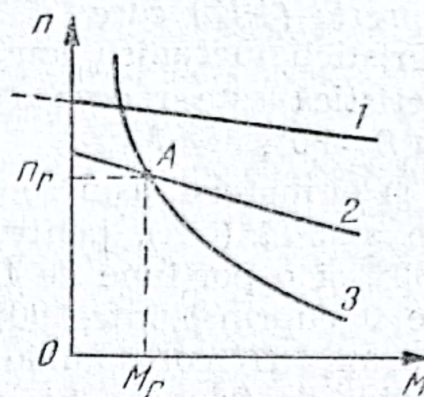


Fig. 5.1

aceeași mașină de lucru (caracteristica mecanică 2) ar fi acționată de un motor electric a cărui caracteristică mecanică ar fi $1'$, punctul stabil de funcționare a sistemului ar fi în B .

În cazul când cele două caracteristici mecanice ar fi situate ca în figura 5.2, se observă că punctul lor de intersecție este în cadranul II, deci nu va exista un punct de funcționare stabilă a sistemului. Dacă, însă, aceeași mașină de lucru (caracteristica mecanică 2) este acționată cu un motor de curent continuu cu excitație serie (caracteristica mecanică 3), se observă că acționarea electrică este posibilă, existînd un punct de funcționare stabilă A .

Din exemplele prezentate rezultă că între motorul de acționare și mașina de lucru există o strînsă interdependență, forma caracteristicii mecanice a mașinii de lucru putînd impune alegerea unui anumit tip de motor.

B. ALEGEREA TIPULUI DE MOTOR

- Motorul de acționare cel mai frecvent utilizat în practică este **motorul asincron trifazat**. El prezintă următoarele avantaje: este mai ieftin, mai robust și mai ușor de întreținut. În general, este preferat *motorul asincron în scurtcircuit*. Atunci când este vorba de puteri mari, pentru care apar dificultăți la pornire, se folosește *motorul asincron cu rotor bobinat*.

- **Motoarele de curent continuu** cu excitație separată sau în derivație se folosesc în special atunci când se impun reglaje de turație între limite largi. Ele prezintă dezavantajul că necesită rețele de alimentare de curent continuu, sînt mai scumpe, mai puțin robuste și necesită o întreținere mai complicată.

• Motoarele sincrone se folosesc în cazul acționărilor de puteri mari și de turație strict constantă. Față de motoarele asincrone, prezintă avantajul că funcționează la un factor de putere mai ridicat.

C. ALEGEREA TIPULUI CONSTRUCTIV DE MOTOR DE ACȚIONARE

Funcționarea normală a unui motor electric este posibilă dacă este construit corespunzător condițiilor de lucru impuse de mediul înconjurător: praf, umezeală, gaze, vapori acizi etc. În acest scop se construiesc motoare electrice protejate contra acestor agenți externi.

• Conform STAS 5375-70, motoarelor electrice de acționare li se pot asigura, prin construcție, două **tipuri de protecție**:

— *protecția persoanelor* contra atingerii părților interioare aflate sub tensiune sau în mișcare și *protecția motorului* contra pătrunderii corpurilor străine solide, simbolizată cu litera I;

— *protecția motorului* contra pătrunderii apei, simbolizată cu P.

• **Gradul de protecție realizat este simbolizat** cu cifre de la 0 la 6 pentru protecții de tip I și de la 0 la 8 pentru protecții de tip P. De exemplu:

I0 — fără protecția persoanelor și a pătrunderii corpurilor străine;

I2 — nu este posibilă atingerea părților interioare aflate sub tensiune sau în mișcare cu degetele și pătrunderea corpurilor străine cu dimensiuni mai mari de 12 mm;

P0 — fără protecție contra pătrunderii apei;

P4 — cu protecție contra stropirii cu apă din orice direcție;

P8 — motoare submersibile, puse să lucreze timp îndelungat sub apă.

Dacă motoarele sînt prevăzute cu ambele tipuri de protecție, se folosesc simboluri compuse, de exemplu:

IP32 — motor protejat contra pătrunderii corpurilor străine cu grosimi mai mari de 2,5 mm și contra picăturilor de apă ce cad sub un unghi maxim de 15° față de verticală.

Motoarele destinate să lucreze în medii cu pericol de incendiu sau de explozie sînt de construcție specială, de două tipuri: cu *protecție antigrizutoasă* și cu *protecție antiexplozivă*.

○ **Trebuie menționat faptul** că costul motoarelor electrice protejate crește odată cu creșterea gradului de protecție.

D. DETERMINAREA PUTERII MOTOARELOR ELECTRICE IN FUNCȚIE DE ÎNCĂLZIRE

1. ÎNCĂLZIREA ȘI RĂCIREA MOTOARELOR ELECTRICE

Utilizarea în condiții optime a unui motor electric de acționare este una dintre problemele importante ce se pun la alegerea acestuia. După cum se știe, rolul motorului electric este de a transforma energia electrică primită de la rețea în energie mecanică pentru acționarea mașinii de lucru. Însă nu întreaga cantitate de energie electrică primită de motor de la rețea se transformă în energie mecanică, deoarece intervin pierderile de energie în motor. Aceste pierderi se transformă în căldură, din care o parte se consumă în motor, pentru încălzirea sa, iar altă parte este degajată în mediul înconjurător. *Puterea motorului trebuie determinată așa fel încât el să funcționeze cât mai aproape de temperatura admisă pentru clasa de izolație a materialelor folosite pentru construcția sa.* Depășirea temperaturii peste valoarea admisă, chiar numai într-o parte a corpului mașinii, duce la deteriorarea sa sau, în cel mai bun caz, la scurtarea vieții acestuia. Funcționarea motorului sub temperatura admisă înseamnă o subutilizare a acestuia, deci o încărcare sub cea nominală, ceea ce duce la funcționarea sa cu un randament scăzut.

Dacă se notează cu Q cantitatea de căldură ce se degajă în motor în unitatea de timp, datorită pierderilor, cu C — capacitatea termică a motorului, adică cantitatea de căldură necesară pentru ca temperatura motorului să crească cu 1°C , cu A — capacitatea de cedare a căldurii de către motor în mediul înconjurător în unitatea de timp, pentru o diferență de temperatură dintre motor și mediu de 1°C și cu θ — diferența de temperatură dintre motor și mediul înconjurător, se poate scrie următoarea ecuație:

$$Qdt = Cd\theta + A\theta dt, \quad (5.1)$$

numită **ecuația echilibrului termic al motorului**. Ea arată că: *cantitatea de căldură ce se degajă în motor în timpul funcționării sale într-un interval de timp dt este egală cu cantitatea de căldură cheltuită pentru creșterea temperaturii sale cu $d\theta$, plus cantitatea de căldură ce se degajă în mediul exterior la o diferență de temperatură de $\theta^{\circ}\text{C}$ între motor și mediul exterior, în*

același interval de timp dt . Integrînd ecuația diferențială (5.1) se obține următoarea ecuație de încălzire a motorului:

$$\theta = \frac{Q}{A} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \right) + \theta_0 e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (5.2)$$

unde $T = \frac{C}{A}$ este constanta de inerție termică a motorului, care diferă de la un motor la altul. Temperatura θ_0 este temperatura mediului înconjurător. Dacă această temperatură se consideră ca temperatură inițială, deci dacă se consideră $\theta_0 = 0$, atunci ecuația (5.2) devine:

$$\theta = \frac{Q}{A} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \right), \quad (5.3)$$

iar curba de variație a încălzirii motorului este indicată în figura 5.3. Se observă că la început temperatura motorului crește mai repede deoarece cea mai mare parte din căldură este cheltuită pentru încălzirea motorului. Pe măsură ce temperatura motorului se apropie de temperatura maximă, cantitatea de căldură degajată în exterior este tot mai mare. Din relația (5.3) se observă că pentru $t = \infty$ rezultă că

$$\theta_{max} = \frac{Q}{A}.$$

Dacă motorul este decuplat de la rețea, cantitatea de căldură Q devine 0 și deci ecuația echilibrului termic devine:

$$Cd\theta \pm A'\theta dt = 0. \quad (5.4)$$

Aici A' este diferit de A , deoarece motorul fiind oprit condițiile de cedare a căldurii în mediul exterior se înrăutățesc, (motorul nu se mai autoventilează). Integrînd ecuația diferențială (5.4) se obține ecuația de răcire a motorului de la temperatura inițială considerată θ_{max} , la temperatura mediului înconjurător θ_0 , sub forma:

$$\theta = \theta_{max} e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.5)$$

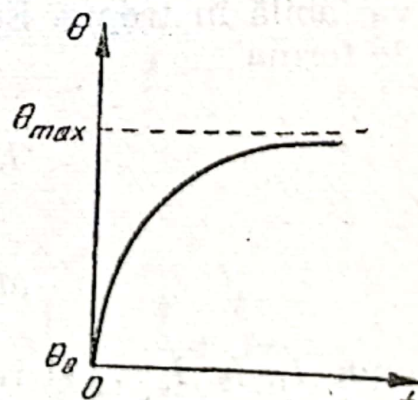


Fig. 5.3

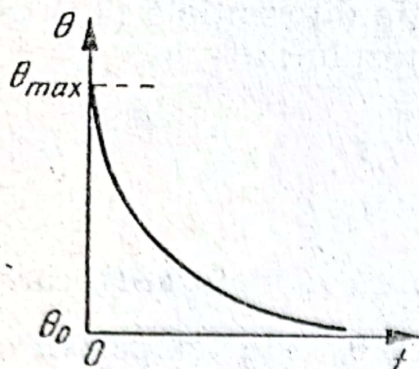


Fig. 5.4

care este reprezentată în figura 5.4. Din ecuația (5.3) se observă că motorul atinge temperatura de regim θ_{max} după un timp t teoretic infinit. Practic însă, se poate considera că timpul de încălzire a motorului pînă la θ_{max} este atins atunci cînd $t = 4 T_0$. Același lucru se poate spune și în legătură cu timpul de răcire al motorului.

2. DETERMINAREA PUTERII MOTOARELOR ELECTRICE

La determinarea puterii motorului electric de acționare în funcție de încălzire trebuie să se țină seamă de regimul de funcționare al mașinii de lucru.

• Pentru mașini de lucru care funcționează cu sarcină constantă în timp (fig. 3.6), dacă se cunoaște valoarea cuplului M (în Nm) pe arborele motorului și turația motorului n (rot/min), puterea calculată a motorului este:

$$P_c = \frac{MN}{9559} [\text{kW}]. \quad (5.6)$$

Din catalogul de motoare electrice se alege motorul a cărui putere nominală $P_n \geq P_c$.

• Pentru mașinile de lucru cu sarcină de durată în trepte (fig. 3.7), încălzirea motorului variază pe diferite intervale de timp în funcție de sarcină. Pentru determinarea puterii motorului, în asemenea situații, se determină un *cuplu echivalent* M_e sau un *curent echivalent* I_e , care în funcționare de durată ar provoca aceeași încălzire a motorului ca și cea datorată încărcării cu sarcină variabilă în trepte. Expresiile curentului și cuplului echivalent sînt de forma

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \quad \text{și} \quad M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \quad (5.7)$$

unde $I_1, I_2, I_3 \dots$ și respectiv $M_1, M_2, M_3 \dots$ sînt curenții, respectiv cuplurile corespunzătoare diferitelor trepte de timp $t_1, t_2, t_3 \dots$ de încărcare a motorului. Avînd stabilită valoarea curentului I_e , din

catalog se alege motorul căruia îi corespunde curentul nominal $I_n \geq I_e$. Dacă se determină M_e , atunci cu ajutorul relației (5.6) se calculează $P_e = \frac{M_e n}{9550}$, iar puterea nominală a motorului este $P_n \geq P_e$.

• În cazul regimului intermitent sau de scurtă durată, pentru determinarea cuplului echivalent trebuie să se țină seamă și de timpul de pauză t_p (fig. 3.8 și 3.9), adică

$$M_e' = \sqrt{\frac{M_{s1}^2 t_1 + M_{s2}^2 t_2 + M_{s3}^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_p}} \quad (5.8)$$

Această relație se aplică în cazul când motorul se alege din catalogul de motoare electrice obișnuite. După cum s-a mai arătat însă, industria construiește și *motoare speciale cu funcționare în regim intermitent*, cu durate standardizate de 25% și 40%. Pentru determinarea puterii motorului, în asemenea cazuri, se folosește expresia cuplului echivalent (5.7). Se determină apoi P_e , cu relația (5.6), și apoi din catalog se ia $P_n \geq P_e$. Dacă durata de acționare reală D_{Ar} , stabilită după graficul de sarcină, diferă de cea standardizată D_{As} , puterea motorului se va recalcula cu relația $P_{nr} = P_{ns} \sqrt{\frac{D_{As}}{D_{Ar}}}$ unde P_{ns} este puterea nominală după catalogul de motoare standardizate pentru regim intermitent de funcționare.

Capitolul 6

ACȚIONĂRI ELECTRICE CU GRUPURI DE MAȘINI

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Adeseori, pentru acționarea unor mașini de lucru se cer a fi îndeplinite anumite condiții, cum ar fi: menținerea strict constantă a vitezei de lucru, funcționarea unor părți componente ale mașinii de lucru într-un raport constant al vitezelor, rotirea cu aceeași viteză a unor părți componente ale mașinii de lucru etc. De exemplu, în cazul unei mașini de tras hîrtie, diferite secțiuni ale acestei

mașini trebuie să se rotească la viteze diferite, dar menținute în raport strict constant. Nerespectarea raportului vitezelor ar putea duce fie la aglomerarea pastei de hârtie, fie la întinderea și deci subțierea pastei. Și într-un caz și în celălalt se ajunge la înrăutățirea calității hârtiei sau chiar la rebuturi. Toate aceste condiții impuse sistemelor de acționare (la care se mai pot adăuga și altele) necesită acționarea cu grupuri de mașini. În general, grupurile de mașini folosite în acționările electrice diferă între ele, în funcție de problemele pe care trebuie să le rezolve.

B. GRUPUL GENERATOR-MOTOR

Grupul generator-motor, numit și *grup Ward-Leonard*, este folosit frecvent pentru reglarea turației unui motor de curent continuu prin modificarea tensiunii de alimentare.

• Principal, grupul generator-motor este format din următoarele **părți componente** (fig. 6.1): *generatorul G de curent continuu*, care alimentează direct *motorul de curent continuu M* , cuplat cu *mașina de lucru acționată ML* . Pentru ca generatorul G să debiteze tensiunea U care alimentează motorul M , este necesar ca generatorul să fie rotit și excitat. Rotirea generatorului se realizează cu motorul asincron MA , alimentat de la rețea de curent alternativ, iar excitarea generatorului G și a motorului M se face de la excitația E , antrenată tot de motorul asincron MA . Inversorul I din schemă servește la inversarea sensului curentului de excitație al generatorului și, prin aceasta, la inversarea sensului tensiunii U , deci la inversarea sensului de rotație al motorului. Reostatul R_1 servește la modificarea curentului în înfășurarea de excitație EG a generatorului G , iar reostatul R_2 — la modificarea curentului în înfășurarea de excitație EM a motorului M .

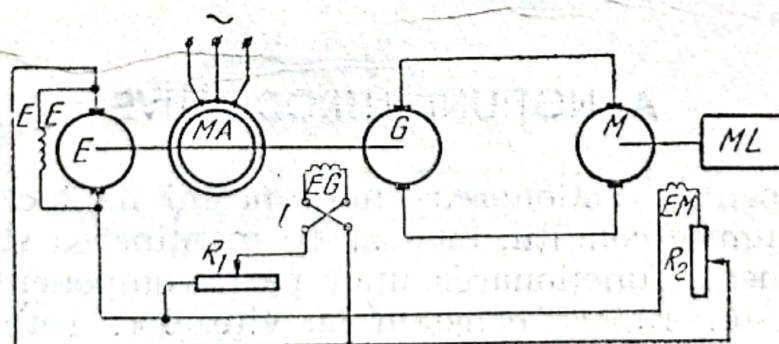


Fig. 6.1

• Grupul generator-motor funcționează în modul următor: cuplînd motorul asincron MA la rețea, acesta se va roti și va antrena atît generatorul G , cît și excitatoarea E , care va alimenta înfășurările de excitație EG și EM ale generatorului și motorului. În aceste condiții, la bornele generatorului va apărea tensiunea U , pentru alimentarea motorului M . Acesta fiind excitat, se va roti și va acționa mașina de lucru ML . Tensiunea U este maximă atunci cînd reostatul R_1 este scos complet din circuit. Pe măsură ce reostatul este introdus în circuit, curentul de excitație al generatorului scade, scade fluxul său de excitație și ca urmare scade și tensiunea U la bornele generatorului și deci tensiunea de alimentare a motorului. În această situație motorul va trece să funcționeze pe o caracteristică mecanică artificială (v. cap. 4.B.2), ceea ce va permite reglarea turației acestuia.

Plecînd de la expresia analitică a caracteristicii mecanice a unui motor de curent continuu (4.6) și ținîndu-se seamă că în circuitul indusului motorului, în afară de rezistența proprie a indusului R_0 , intervine și rezistența R_g a indusului generatorului, expresia analitică a caracteristicii motorului funcționînd în sistemul generator-motor este:

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{M(R_a + R_g)}{k_e k_m \Phi^2} \quad (6.1)$$

Se observă deci că în cazul grupului generator-motor căderea de turație este mai mare și deci caracteristicile mecanice 2, 2' vor fi mai înclinate (fig. 6.2). Se mai observă, de asemenea, că prin modificarea rezistenței R_2 din circuitul de excitație al motorului se poate modifica fluxul de excitație al acestuia și deci se pot obține caracteristicile mecanice 3, 3' etc. (v. cap. 4B2 și fig. 4.5).

• Examinînd modul de funcționare al grupului generator-motor, rezultă că el oferă numeroase avantaje și anume:

— permite o reglare în limite largi a turației motorului și anume: în sens descrescător prin modificarea valorii rezistențelor R_1 și în sens crescător prin modificarea valorii rezistenței R_2 ;

— folosirea motorului de curent continuu nu face necesară existența unei rețele de curent continuu, alimentarea grupului asigurîndu-se de la o

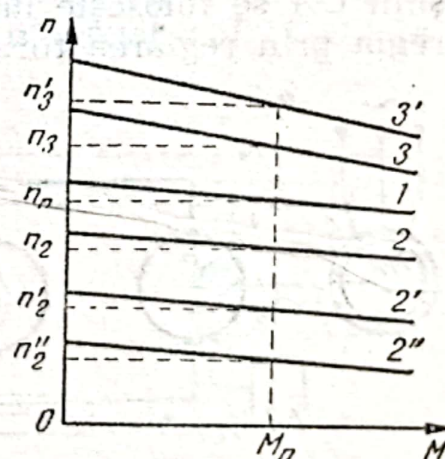


Fig. 6.2

rețea de curent alternativ prin intermediul motorului asincron MA ;
 — nu este necesară folosirea de rezistențe de pornire, limitarea curentului la pornire putându-se face la tensiuni scăzute.

• Grupul generator-motor prezintă însă și unele **dezavantaje**, principalul dezavantaj fiind numărul mare de mașini ce trebuie folosite, ceea ce implică o întreținere mai complicată, un spațiu mai mare și, evident, cheltuieli mai mari decât în cazul folosirii unui singur motor.

C. CONVERTIZOARE DE FRECVENȚĂ ROTATIVE

După cum se știe, una dintre posibilitățile de reglare a turației unui motor asincron este modificarea frecvenței tensiunii de alimentare. Această metodă necesită, însă, o sursă de frecvență variabilă. În acest scop se folosesc **convertizoarele de frecvență**, care pot fi *statice* sau *rotative*. La rândul lor, convertizoarele de frecvență **rotative** pot fi: *convertizoare asincrone* și *convertizoare sincrone*.

• În figura 6.3 este reprezentată **schema de principiu a unui convertizor de frecvență asincron**. Convertizorul de frecvență propriu-zis este format din mașina asincronă cu rotor bobinat CA , alimentat în rotor (excitat) cu o tensiune alternativă trifazată de frecvență $f_1 = \text{const}$ și rotit cu turație variabilă de un motor de curent continuu (M), funcționând în sistemul generator-motor. La bornele statorului mașinii CA se obține o tensiune alternativă de frecvență variabilă funcție de turație a convertizorului asincron. Motorul a cărui turație se reglează prin modificarea frecvenței se conectează la bornele de frecvență variabilă f_2 .

• În cazul **convertizorului sincron de frecvență**, în locul mașinii CA se folosește un generator sincron, a cărui turație se poate regla prin reglarea turației motorului M și a cărui înfășurare rotorică este excitată în curent continuu. Avantajul acestor convertizoare constă în faptul, că, menținând constant curentul de excitație rotorică, se menține constant și raportul $\frac{n_1}{f_1}$ și deci se menține constant și cuplul critic M_k al motorului sincron a cărui turație se reglează. Dezavanta-

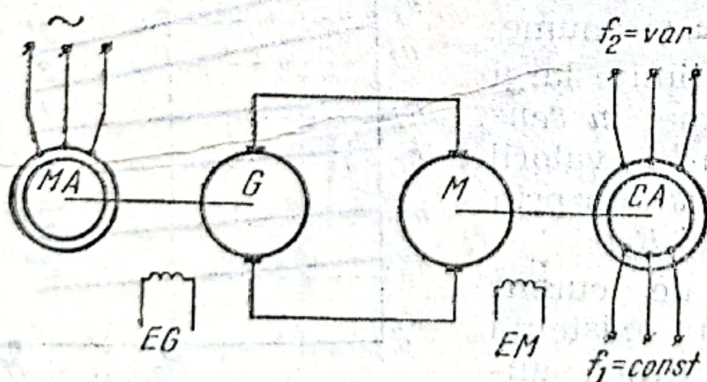


Fig. 6.3

jul principal al acestor convertizoare constă în numărul mare de mașini ce trebuie folosite pentru realizarea grupului, care generează aceleași inconveniente ca și la grupul generator-motor.

D. ARBORELE ELECTRIC

În practică se întâlnesc adeseori situații în care diferitele părți componente ale unei mașini de lucru, situate la distanțe apreciabile între ele (6—8 m), trebuie să se rotească strict cu aceeași turație. Acest lucru se poate realiza prin cuplarea părților componente pe un același ax mecanic. Această soluție creează dificultăți de instalare sau greutatea de exploatare, datorită deformărilor pe care le poate lua axul. În asemenea situații este preferabil să se folosească câte un motor pentru acționarea fiecărei părți componente a mașinii de lucru, fără legătură mecanică între ele, dar legate electric, astfel încât să se rotească cu aceeași turație. În felul acesta se realizează un așa-numit *ax* sau *arbore electric*. Arborii electrici se pot realiza în mai multe variante, însă tipurile cele mai răspândite sînt: *cu mașini ajutătoare asincrone* și *cu reostat comun*.

1. ARBORELE ELECTRIC CU MAȘINI AJUTĂTOARE ASINCRONE

• Schema de principiu a unui asemenea arbore electric este indicată în figura 6.4 și conține motoarele principale de acționare M_1 și M_2 care acționează separat părțile componente I și II ale mașinii de lucru ce trebuie să le rotească cu aceeași turație, și motoarele asincrone auxiliare MA_1 și MA_2 , cuplate mecanic cu motoarele principale M_1 și respectiv M_2 . Motoarele auxiliare sînt cu rotor bobinat și au rotoarele legate electric (prin conductoare) între ele. Toate motoarele sînt alimentate de la rețeaua trifazată de curent

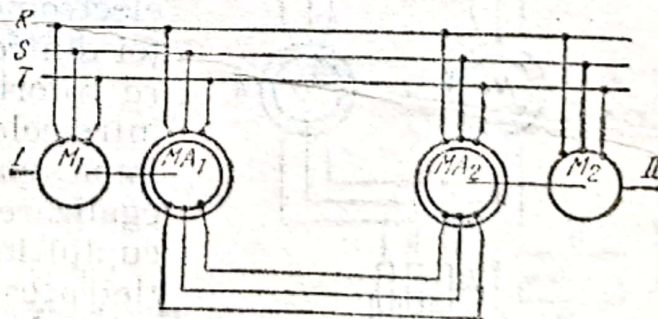


Fig. 6.4

alternativ. Se menționează că atât motoarele principale, M_1 și M_2 , cât și cele auxiliare, MA_1 și MA_2 , trebuie să fie identice între ele.

• **Funcționarea.** Dacă motoarele principale se rotesc cu aceeași turație, tensiunile electromotoare în rotoarele motoarelor auxiliare sînt egale și, rotoarele fiind legate în opoziție, aceste tensiuni se anulează, deci prin circuitul rotoric comun al motoarelor auxiliare nu circulă curent.

Dacă însă turația unuia dintre motoare, de exemplu a motorului M_1 , scade, se micșorează și turația motorului auxiliar MA_1 ceea ce duce la modificarea tensiunii electromotoare a acestuia. Tensiunile electromotoare ale celor două mașini auxiliare nu se mai compensează reciproc și în acest caz apare un curent în circuitul rotoric comun, numit *curent de egalizare*. Acest curent determină un cuplu suplimentar pe arborele motorului auxiliar MA_1 care, adunat cu cuplul dat de motorul principal M_1 , determină creșterea turației arborelui I, compensînd scăderea inițială a turației acestuia. Cînd turațiile motoarelor M_1 și M_2 devin egale, curentul de egalizare se anulează și instalația revine la funcționarea normală.

2. ARBORELE ELECTRIC CU REOSTAT COMUN

• **Schema de principiu** a unui asemenea arbore este reprezentată în figura 6.5 și conține motoarele de acționare identice M_1 și M_2 asincrone cu rotor bobinat. Cele două rotoare sînt legate între ele și pe această legătură comună se montează reostatul trifazat R .

• **Funcționarea.** Dacă turațiile motoarelor M_1 și M_2 sînt egale, vor fi egale și tensiunile electromotoare rotorice, precum și curenții rotorici, debitați pe reostatul comun R . Dacă însă turația unui motor, de exemplu M_1 , scade, se modifică și tensiunea sa electromotoare rotorică și, datorită diferenței dintre cele două tensiuni electromotoare rotorice, apare un curent de egalizare între cele două rotoare. Acest curent determină apariția unui cuplu suplimentar (de egalizare) la motorul M_1 , care se adună cu cuplul inițial, determinînd creșterea turației acestuia, pînă la egalizarea turațiilor celor două motoare, cînd curentul de egalizare se anulează.

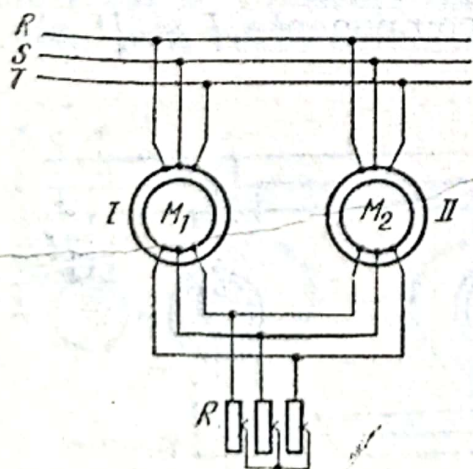


Fig. 6.5

Capitolul 7

SISTEME DE ACȚIONARE CU ELEMENTE DE COMUTAȚIE STATICĂ

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Acționările electrice moderne utilizează pe scară mai largă **elementele de comutație statică**. Acestea sînt elemente care permit modificarea valorii sau formei curentului într-un circuit, fără a avea piese în mișcare. Astfel de elemente se pot realiza cu dispozitive semiconductoare (diodă, tiristoare etc.), cu tuburi iono-electronice (redresoare cu vapori de mercur, tiratroane, ignitroane etc.), sau cu amplificatoare magnetice. În acest capitol ne vom ocupa numai de elementele de comutație statică cu *semiconductoare*, care sînt cele mai răspîndite în prezent.

- Pentru a înțelege mai bine posibilitățile de utilizare a elementelor semiconductoare în acționările electrice, ne vom referi la început la un **circuit simplu** (fig. 7.1), în care, în secundarul transformatorului Tr se află dioda semiconductoare D și rezistența de sarcină R_s . Se știe că o diodă permite trecerea curentului într-un singur sens și anume cînd anodul se află la un potențial mai pozitiv decît catodul. Dacă tensiunea u din secundarul transformatorului este alternativă sinusoidală (fig. 7.2, a), rezultă că tensiunea redresată U_d are forma indicată în figura 7.2, b: redresorul conduce numai în semiperioada $0-\pi$, cînd la borna 1 a transformatorului este un potențial pozitiv, iar în semiperioada $\pi-2\pi$ dioda este blocată. Forma curentului mediu redresat este indicată în figura 7.2, c.

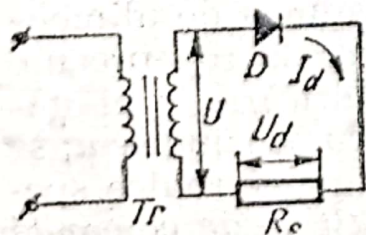


Fig. 7.1

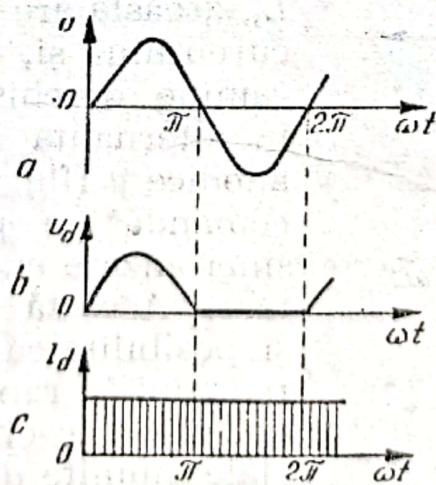


Fig. 7.2

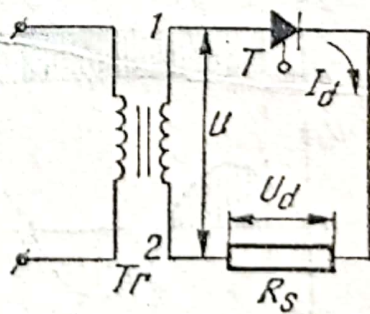


Fig. 7.3

• Se consideră acum o schemă similară celei anterioare (fig. 7.3), în care dioda D este înlocuită cu un tiristor T .

Tiristorul este tot un dispozitiv semiconductor, cu trei joncțiuni $p-n$ (față de una cât are dioda) și care are un electrod de comandă, numit poartă sau grilă. Dacă pe anodul tiristorului se aplică un potențial pozitiv, iar pe catod — unul negativ și pe poartă nu se aplică nici un semnal, tiristorul este blocat (rezistența sa este extrem de mare); aplicând un impuls pozitiv pe poartă, tiristorul se deblochează (se deschide, se aprinde), rezistența sa devenind practic nulă. După deschiderea tiristorului, semnalul aplicat pe poartă nu mai are nici o influență asupra funcționării tiristorului. Tiristorul poate fi blocat din nou numai prin anularea sau inversarea polarității tensiunii dintre anod și catod.

În schema din figura 7.3 tiristorul poate conduce numai în alternanțele în care borna 1 este polaritatea pozitivă a tensiunii u . Dacă impulsul de comandă pe poartă se aplică chiar la începutul alternanței pozitive, funcționarea schemei este identică cu cea din figura 7.1. Dacă impulsul de comandă este întârziat cu unghiul α ; tiristorul se deschide mai târziu, conduce doar o parte din semiperioada pozitivă, în semiperioada negativă rămânând desigur blocat. Prin urmare, tensiunea redresată U_d (linie plină pe fig. 7.4, a) și curentul mediu redresat (fig. 7.4, b) sînt mai mici decît în cazul $\alpha=0$. Unghiul α , măsurat din momentul în care tiristorul ar putea intra în conducție, pînă în momentul aplicării impulsului de comandă, se numește *unghi de aprindere*. Cu cît α este mai mare, cu atît valorile medii ale curentului și tensiunii redresate sînt mai mici.

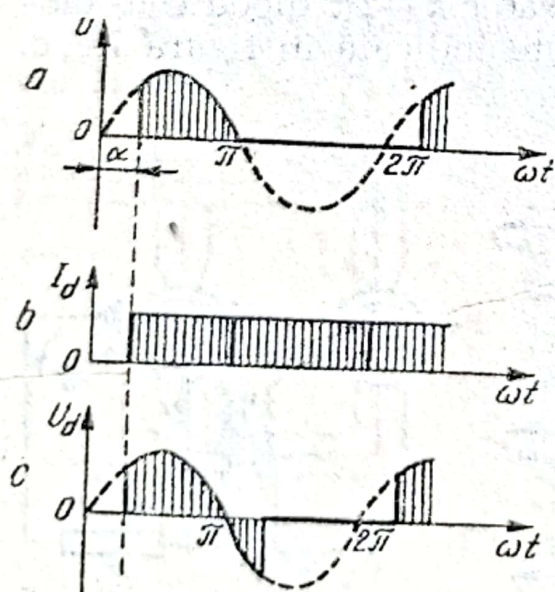


Fig. 7.4

○ De remarcat că în cazul în care circuitul de sarcină conține, în afara rezistenței R_s , și o inductanță L_s , aceasta are ca efect „prelungirea” curentului și, ca urmare, tiristorul rămîne deschis un anumit timp și în alternanța negativă a tensiunii anodice u (fig. 7.4, c). Impulsurile de comandă pe poartă trebuie să fie sincronizate cu tensiunea de alimentare. Această sincronizare precum și posibilitatea modificării fazei impulsului în raport cu tensiunea u , se utilizează în circuite electronice speciale, numite *dispozitive de comandă pe grilă*.

B. ALIMENTAREA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU REDRESOARE COMANDATE MONOFAZĂTE

Pentru alimentarea motoarelor de curent continuu cu redresoare monofazate se folosesc scheme bialternanță, care permit trecerea curentului în ambele alternanțe ale tensiunii u . Se pot utiliza scheme cu transformator cu punct median sau scheme în punte, acestea din urmă fiind reprezentate în figura 7.5. O astfel de punte se poate realiza în trei variante: punte necomandată (când toate dispozitivele semiconductoare $T_1—T_4$ din schemă sînt diode); punte semicomandată (cînd T_1 și T_2 sînt tiristoare, T_3 și T_4 sînt diode) și punte comandată (cînd $T_1—T_4$ sînt tiristoare).

• În cazul punții necomandate, tensiunea redresată U_d are aspectul din figura 7.6, a. În adevăr, pentru alternanța în care polaritatea pozitivă a tensiunii u apare la borna 1, conduc diodele T_1 și T_4 ; în alternanța următoare, cînd borna 2 are un potențial pozitiv, conduc diodele T_3 și T_2 , sensul curentului prin motor fiind ca în alternanța precedentă. Valoarea medie a tensiunii redresate (U_{dm}) este constantă, deci o punte necomandată nu permite reglarea turației motorului M .

• În figura 7.6, b este reprezentată variația tensiunii redresate în cazul punții semicomandate: pentru alternanța cu polaritatea (+)

Fig. 7.5

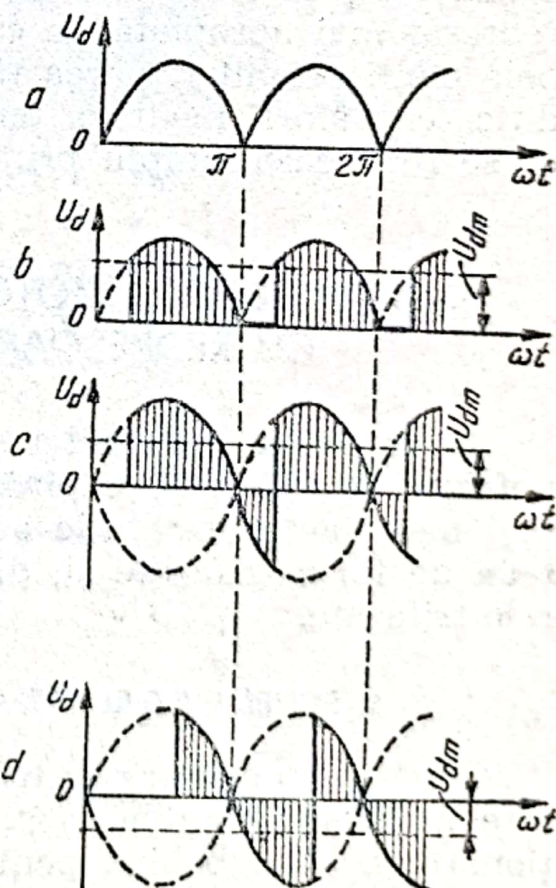
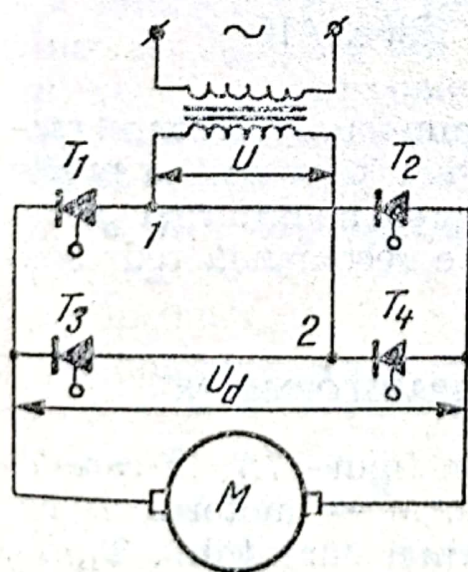


Fig. 7.6

la borna 1, pot conduce tiristorul T_1 și dioda T_4 , dar numai după ce se aplică impulsul de comandă pe poarta tiristorului; în momentul $\omega t = \pi$, tensiunea u se anulează, ceea ce duce la blocarea diodei.

• În cazul punții comandate (fig. 7.6, c și d), deoarece curentul se prelungește și în alternanța următoare, datorită inductanței L a motorului, tiristoarele T_1 și T_4 rămân în conducție pînă la aplicarea impulsului pe porțile tiristoarelor T_2 și T_3 , cînd conducția este preluată de acestea din urmă. Prelungirea conducției în alternanța negativă prin T_1 și T_4 nu este posibilă și la schema semi-comandată, deoarece în acest caz, în momentul anulării tensiunii u , chiar dacă tiristorul T_1 ar mai conduce, dioda T_4 se blochează și întrerupe curentul.

Analizînd figurile 7.6, c și d, se observă că dacă $\alpha < 90^\circ$, atunci valoarea medie a tensiunii redresate U_{dm} este pozitivă, iar dacă $\alpha > 90^\circ$ atunci $U_{dm} < 0$ (curentul i_d însă își păstrează sensul). Pentru $\alpha > 90^\circ$ rezultă deci că transferul de energie se face de la motor către rețea; motorul funcționează în acest caz în regim de frînare cu recuperare, iar puntea se spune că funcționează în regim de invertor. Din punctul de vedere al acționării, rezultă că *puntea comandată este necesară cînd se impune ca motorul să funcționeze și în regim de frînare.*

Cînd acest regim nu este necesar, se recomandă puntea semi-comandată, ca fiind mai ieftină și realizînd o formă a curentului redresat mai apropiată de cea a curentului continuu. Evident, ambele punți permit reglarea turației motorului de acționare prin modificarea valorii medii a tensiunii aplicate la bornele sale, lucru ce se realizează simplu prin schimbarea unghiului de aprindere α .

C. ALIMENTAREA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU REDRESOARE COMANDATE TRIFAZATE

Alimentarea motoarelor de curent continuu cu redresoare monofazate se face numai pînă la puteri de cîțiva kilowați. La puteri mai mari, această soluție ar duce la încărcarea neuniformă a rețelei de forță trifazate și, din acest motiv, se recomandă redresoarele trifazate.

1. SCHEME DE REDRESARE TRIFAZATĂ CU TRANSFORMATOR

O schemă de redresor trifazat este dată în figura 7.7, în care Tr este un transformator cu secundarul în stea, M — motorul de acționare, L — o bobină pentru nivelarea formei curentului, T_1 , T_2 ,

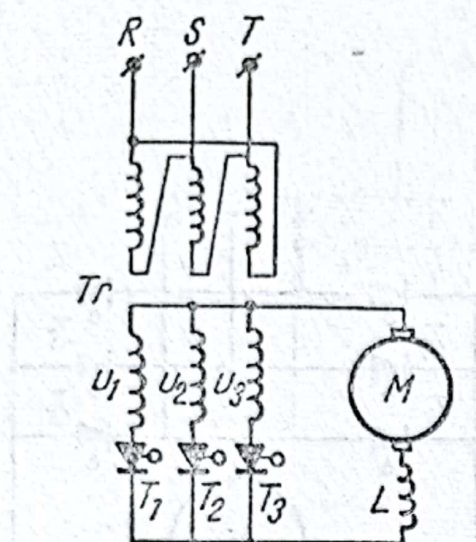


Fig. 7.7.

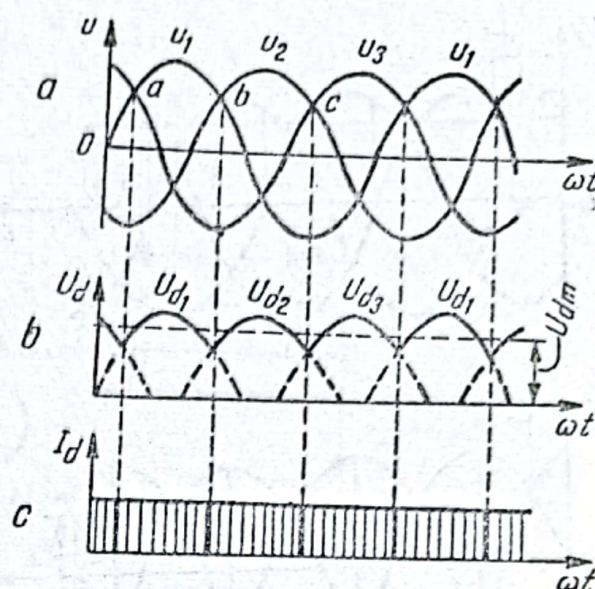


Fig. 7.8

T_3 — elemente semiconductoare: diode în cazul redresării necomandate și tiristoare în cazul redresării comandate.

• În cazul redresării necomandate (care nu permite reglarea turației motorului), formele de variație a tensiunii și curentului sînt reprezentate în figura 7.8. În figura 7.8, *a* sînt reprezentate tensiunile de alimentare u_1, u_2, u_3 , care — după cum se știe — sînt defazate între ele cu 120° . În figura 7.8, *b* este reprezentată tensiunea redresată U_d . Dacă urmărim funcționarea pornind, de exemplu, din punctul *a*, se constată că în intervalul următor de timp tensiunea cea mai pozitivă este u_1 și ca atare dioda T_1 este deschisă. În această situație, tensiunea în punctul *A* (fig. 7.7), comun catodilor celor trei diode, este practic egală cu u_1 ; în felul acesta, catodii diodelor T_2 și T_3 se aplică un potențial mai pozitiv (u_1) decît pe anozii lor (u_2 și respectiv u_3) și, ca urmare, cele două diode sînt blocate. Începînd din punctul *b*, tensiunea cea mai pozitivă devine u_2 și ca urmare conducția este preluată de dioda T_2 , diodele T_1 și T_3 fiind blocate, iar din punctul *c* conducția este preluată de dioda T_3 etc. Curentul redresat apare aproximativ ca în figura 7.8, *c*.

• În cazul redresării comandate tensiunea redresată poate avea formele reprezentate în figura 7.9, funcție de valoarea unghiului de aprindere α . Se observă că și în cazul redresării trifazate, pentru unghiuri α mai mari este posibilă prelungirea conducției unui tiristor și în perioade în care tensiunea pe fază respectivă devine negativă. Se observă că redresarea trifazată asigură, comparativ cu cea monofazată, o formă mai apropiată de cea continuă pentru tensiunea și curentul redresat.

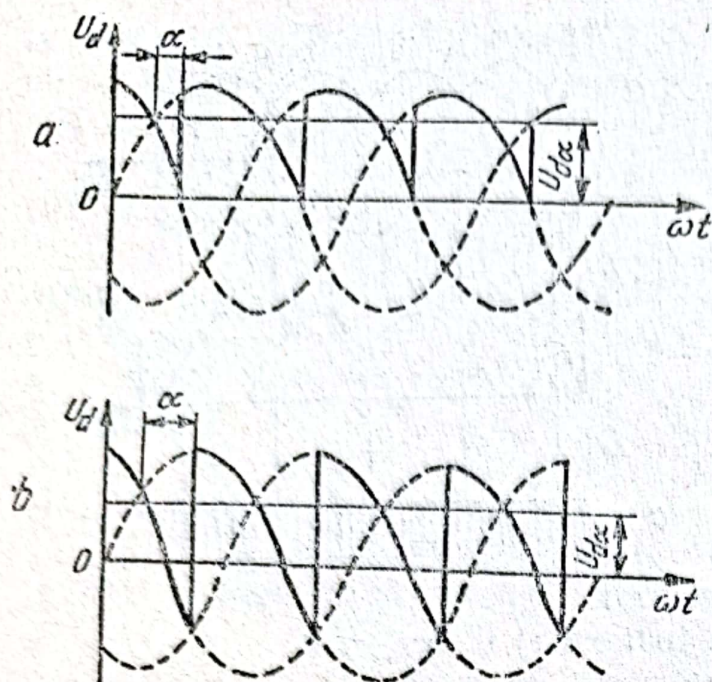


Fig. 7.9

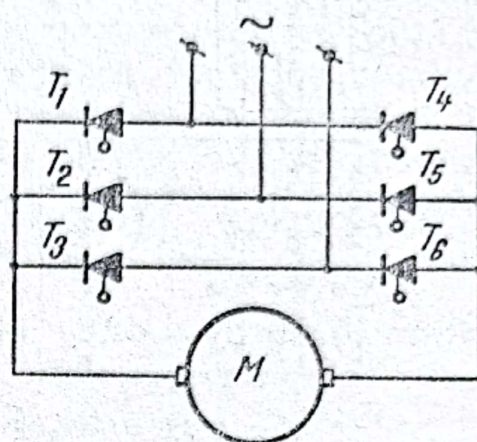


Fig. 7.10

2. SCHEME DE REDRESARE TRIFAZATĂ IN PUNTE

Pentru alimentarea motoarelor de curent continuu se folosesc deseori scheme de redresare în punte trifazată (fig. 7.10), care permit obținerea unor forme și mai bune ale mărimilor redresate, față de schema din figura 7.7. Se întâlnesc următoarele variante: *punte necomandată* ($T_1—T_6$ sînt diode), *punte semicomandată* ($T_1—T_3$ sînt tiristoare, iar $T_2—T_6$ sînt diode) și *punte comandată* ($T_1—T_6$ sînt tiristoare). Problemele legate de funcționarea acestor categorii de punți sînt asemănătoare cu cazul punților monofazate.

D. ACȚIONĂRI ELECTRICE REVERSIBILE ȘI REGLABILE

Există două variante principale prin care se poate asigura schimbarea sensului de rotație pentru un sistem de acționare cu elemente de comutație statică:

— se folosește *un singur redresor*, și în plus se prevede un comutator pentru inversarea polarității, fie în circuitul rotoric, fie în cel statoric;

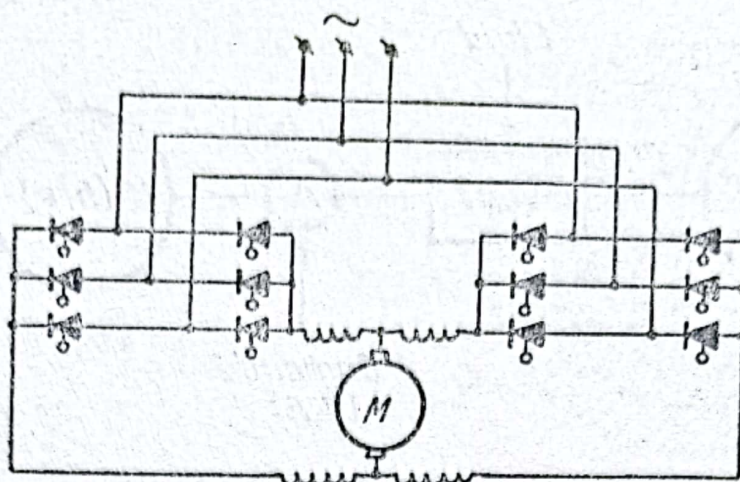


Fig. 7.11

— se folosesc două redresoare, câte unul pentru fiecare sens de rotație. În figura 7.11 este reprezentată schema principală pentru o acționare reversibilă trifazată, utilizând câte un redresor pentru fiecare sens de rotație.

Capitolul 8

ACȚIONĂRI HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Așa cum s-a amintit, pentru acționarea unor mecanisme și mașini industriale adeseori se folosesc acționări hidraulice sau pneumatice, datorită avantajelor pe care le oferă, comparativ cu acționările electrice. Asemenea acționări au însă o răspîndire mai redusă datorită unor dezavantaje pe care le prezintă.

B. SCHEMA STRUCTURALĂ A ACȚIONĂRILOR HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

Principal, structura unei acționări hidraulice sau pneumatice este reprezentată în figura 8.1. Schema structurală pentru asemenea acționări are următoarele părți componente: un motor elec-

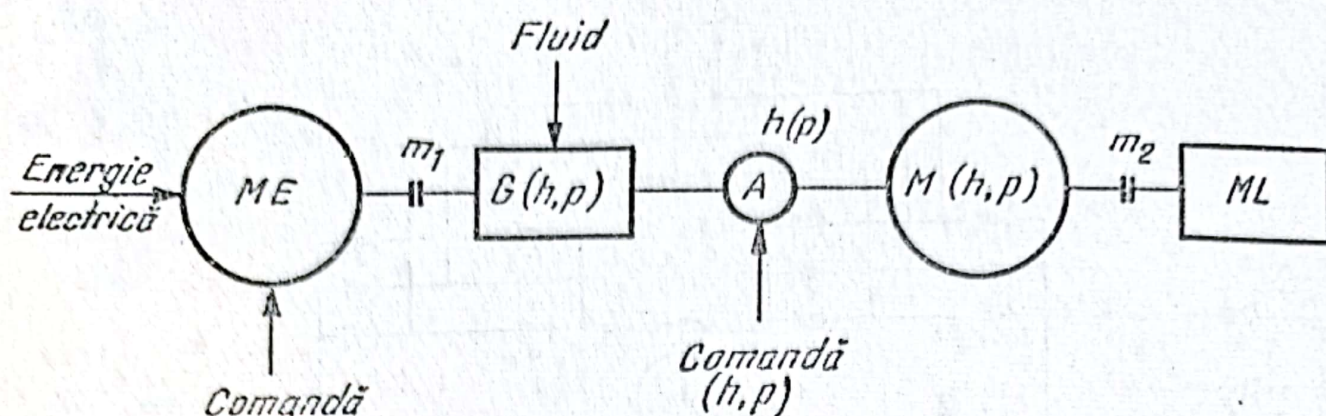


Fig. 8.1

tric ME, alimentat cu energie electrică de la rețea și care fiind comandat dă pe arborele său energie mecanică m_1 , care este transmisă unui generator hidraulic sau pneumatic $G(h, p)$. Acesta fiind alimentat din exterior cu fluid, care pentru acționările hidraulice este uleiul mineral și uneori apa, iar pentru cele pneumatice aerul comprimat, transformă energia mecanică m_1 în energie hidraulică sau pneumatică, pe care o transmite mai departe motorului M (hidraulic sau pneumatic). De obicei, generatorul G este o pompă hidraulică sau un compresor pneumatic. Ca regulă generală, între generatorul G și motorul M se interpun aparate de comandă A , de diferite tipuri, după funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească conform procesului de lucru. Motorul M transformă din nou energia hidraulică sau pneumatică în energie mecanică m_2 , la parametrii impuși de mașina de lucru.

○ Notă. Dat fiind faptul că în schema din figura 8.1 este folosit și un motor electric, instalațiile de acest fel se mai numesc și acționări electro-hidraulice sau electro-pneumatice. Uneori, în special în instalațiile hidraulice, în locul motorului electric ME se poate folosi un motor termic, de exemplu un motor diesel, caz în care instalația se numește diesel-hidraulică, întâlnită la locomotivele diesel-hidraulice.

C. ELEMENTE COMPONENTE ALE ACȚIONĂRILOR HIDRAULICE

Urmărind schema structurală din figura 8.1, se observă că pentru realizarea unei acționări hidraulice sînt necesare următoarele elemente componente:

- sursa sau rezervorul de fluid (ulei mineral);

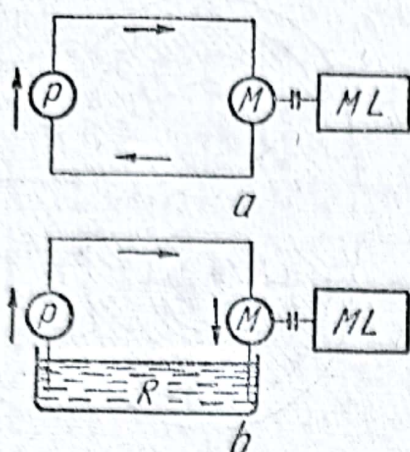


Fig. 8.2

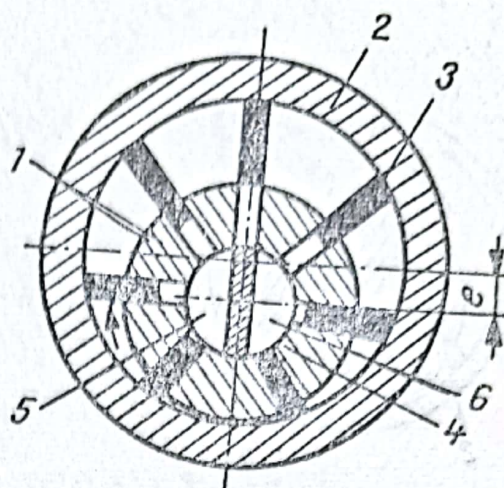


Fig. 8.3

- generatorul hidraulic;
- motorul hidraulic;
- aparate hidraulice de comandă sau auxiliare.

• **Sursa sau rezervorul de fluid** diferă de la o instalație la alta în funcție de modul cum se realizează alimentarea instalației cu uleiul mineral. Instalațiile de alimentare pot fi realizate în circuit închis (fig. 8.2. b) sau în circuit deschis (fig. 8.2, a). După cum se observă, în ambele instalații pompa P (generatorul G) împinge uleiul sub presiune la motorul hidraulic M. În instalațiile în circuit închis, uleiul de la ieșirea motorului M este adus direct la pompa P și recirculat, în timp ce în instalațiile în circuit deschis uleiul este deversat în rezervorul R și din acesta este repompat în circuit.

• **Generatoare (pompe) hidraulice.** Generatoarele (pompele) folosesc pentru transformarea energiei mecanice primite de la motorul electric în energie hidraulică. Din punct de vedere constructiv, pompele hidraulice pot fi:

— cu debit variabil, care la rândul lor pot fi: cu piston, cu palete etc.;

— cu debit constant, care pot fi: cu roți dințate, cu palete cu dublă acțiune etc.

În figura 8.3 este reprezentată schematic o pompă cu pistoane cu debit variabil. Modul de funcționare a pompei este următorul: în jurul axului fix 4 se rotește rotorul 1. Pistoanele radiale 3, în număr impar, alunecă spre exterior sub influența unor arcuri și ating inelul excentric 2 (de excentricitate reglabilă). La rotirea rotorului 1, pistoanele se deplasează, pe rând, radial. Pentru sensul

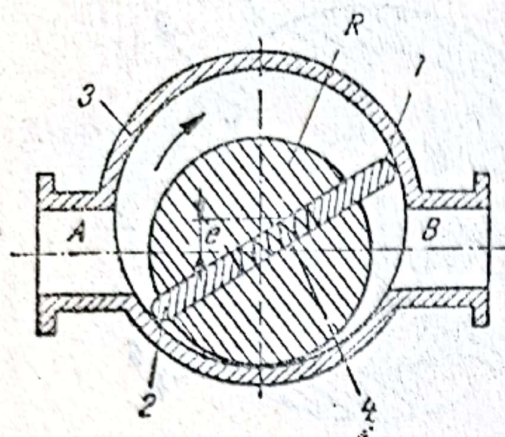


Fig. 8.4

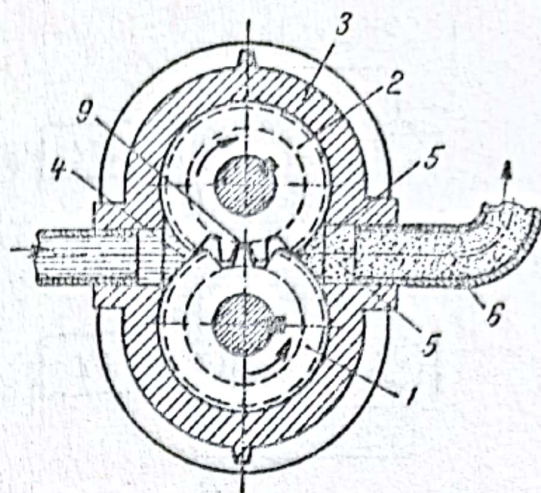


Fig. 8.5

de rotire indicat, uleiul este aspirat în camera 5, datorită creșterii spațiului dintre cilindri, și este refulat în camera 6 spre conductă, datorită micșorării spațiului dintre cilindri. Reglarea debitului se face prin modificarea excentricității e . Asemenea pompe se execută în mai multe variante constructive: cu alimentare interioară sau exterioară, cu acțiune simplă sau multiplă etc. Ele se construiesc pînă la puteri de 3 000 kW, debite pînă la 8 000 l/min și presiuni pînă la 300 bari (daN/cm^2).

În figura 8.4 este reprezentată schematic o **pompă cu palete cu debit variabil**. Modul de funcționare al pompei este următorul: paletele 1—2 (de obicei în număr de 4—12) alunecă în rotorul R , fiind împinse radial, datorită resortului spiral 4, cursa lor fiind limitată de carcasa 3. Datorită excentricității e și ținînd seamă de sensul de rotire indicat de săgeată, uleiul este absorbit prin conducta A și, fiind antrenat de palete, este refulat în camera B . Asemenea pompe au o construcție mai simplă decît cele precedente; în schimb, au performanțe mai scăzute: debit pînă la 250 l/min, iar presiunea maximă 100 bari.

În figura 8.5 este reprezentată schema de principiu a unei **pompe cu debit constant cu roți dințate**. Principiul de funcționare este următorul: la rotirea roților dințate identice 1 și 2, închise în camera 3, se produce o antrenare a uleiului din camera de aspirație 4 spre cea de evacuare 5. Asemenea pompe se construiesc pentru presiuni de 3—5 bari (la pompe de ungere și de răcire), pînă la 150 și chiar 300 bari. Debitele pot varia între 10 și 1 000 l/min, cu viteze de lucru pînă la 3 000 rot/min. În țara noastră se construiesc asemenea pompe cu presiuni nominale de 25—100 bari, debite între 16 și 160 l/min și turații de 750—3 000 rot/min.

• **Motoare hidraulice.** În general, pompele hidraulice prezentate sînt reversibile, deci pot funcționa și ca motoare.

În figura 8.6 este reprezentat un motor hidraulic cu pistonase axiale care poate funcționa și ca pompă. Acest motor funcționează în felul următor: suportul rotativ 1

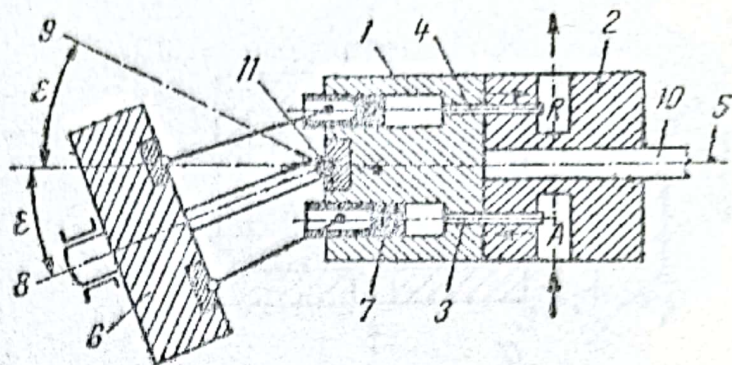


Fig. 8.6

al pistoanelor 7 conține (în număr impar) alezajele cilindrice ale acestora. Funcția de distribuție a camerelor de aspirație A și de refulare R este îndeplinită de fantele 3 și respectiv 4. Dacă discul înclinabil 6 de acționare a pistoanelor este rotit cu un unghi $\pm \varepsilon$, se realizează o anumită ordine de deplasare a pistoanelor în interiorul cilindrilor și, ca urmare, o anumită succesiune a acțiunii cilindrilor asupra camerelor de aspirație sau refulare. Pe figură s-au mai notat: cu 5 — axul de rotație și punere la zero a discului 6, cu 8 și 9 — pozițiile extreme ale înclinării discului 6, cu 11 — articulațiile discului. Principalul *avantaj* al acestui motor (pompă) constă în gabaritul său redus: la o greutate de 1 kg revine o putere de 5 kW. Motoarele de acest fel pot atinge turații de 4 000—5 000 rot/min, iar pentru construcții speciale (pentru aviație) — pînă la 25 000 rot/min. Se construiesc pentru presiuni de 200—700 bari și debite de la 3—5 l/min la 800 l/min, cu puteri pînă la 3 500 kW. Se realizează în diferite variante constructive.

• **Aparate hidraulice.** Principalele aparate utilizate în schemele de acționare hidraulică sînt:

— **aparatele de distribuție**, cu rol de *dirijare a fluidului de lucru de la sursă* (pompă) spre organul activ de lucru sau spre alte elemente ale sistemului și de *asigurare a evacuării fluidului spre rezervor*. Ele pot asigura, de asemenea, inversarea sensului de lucru al motorului hidraulic. Principal, un distribuitor hidraulic este format dintr-un cilindru în interiorul căruia se deplasează unul, două sau mai multe pistoane, care împing lichidul spre diferite orificii de ieșire într-o anumită succesiune;

— **aparatele de reglare a debitului** care servesc la *reglarea vitezei motorului hidraulic*, prin modificarea cantității de lichid admis în motor în unitatea de timp. Acestea sînt dispozitive ce permit reglarea secțiunii admise a lichidului, pe principiul unor robinete speciale;

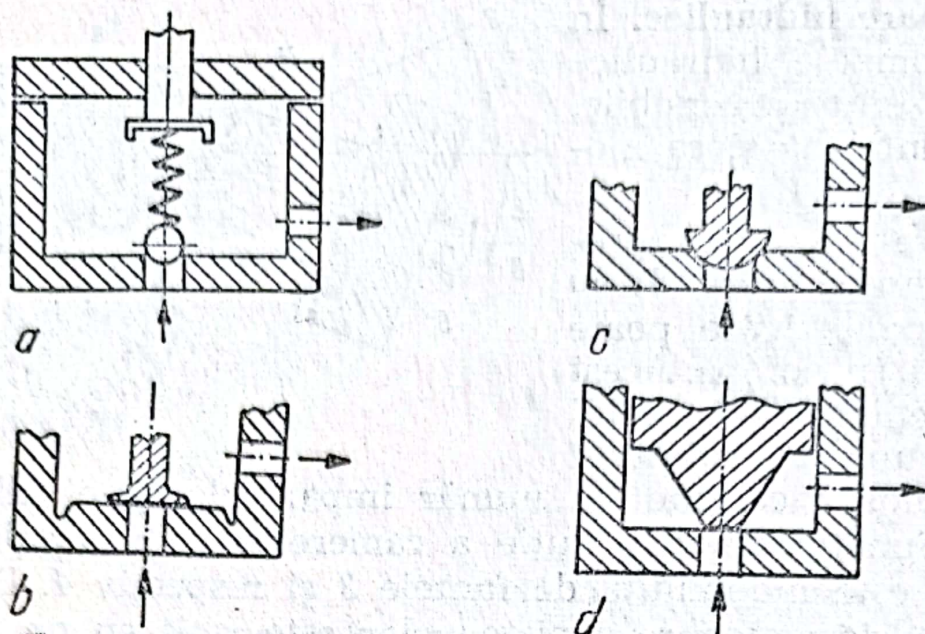


Fig. 8.7

— aparatele de reglare a presiunii, care au rolul de a menține presiunea lichidului la o anumită valoare constantă sau de a o modifica după un anumit program. Aceste aparate se numesc *supape*, *valve* sau *ventile*. Constructiv, ele pot fi de mai multe feluri: *cu bile* (fig. 8.7, a), *cu scaun plat* (fig. 8.7, b), *cu supapă sferică* (fig. 8.7, c), *cu supapă cu scaun conic* (fig. 8.7, d) etc. Din punct de vedere funcțional se pot distinge: *supape de siguranță sau deversare*, *supape de sens unic*, *supape de reducere sau de multiplicare*, *supape limitatoare de debit* etc;

— *acumulatoarele*, care au rolul de a acumula și a furniza energia hidraulică în perioadele de consum maxim, sau de a menține un anumit echilibru de presiune. Ele au și rolul de amortizare a oscilațiilor șocurilor hidraulice;

— *filtrele*, care asigură puritatea lichidului. Din punct de vedere constructiv, filtrele pot fi: *cu sită metalică*, *din elemente textile*, *de hîrtie*, *magnetice*, *electrostatice*, *centrifuge* etc.

D. ELEMENTE COMPONENTE ALE ACȚIONĂRILOR PNEUMATICE

Pentru realizarea unei acționări pneumatice, sînt necesare următoarele elemente componente:

- *compresorul* (generatorul pneumatic);
- *elementul de execuție pneumatic* (motorul);

- *aparaturul pneumatic;*
- *elemente auxiliare.*

• **Compresoarele pneumatice** au rolul de a transforma energia mecanică primită în energie pneumatică, prin reducerea volumului specific al aerului, adică prin creșterea presiunii. Compresoarele sînt de mai multe feluri: cu piston, rotative și turbocompresoare.

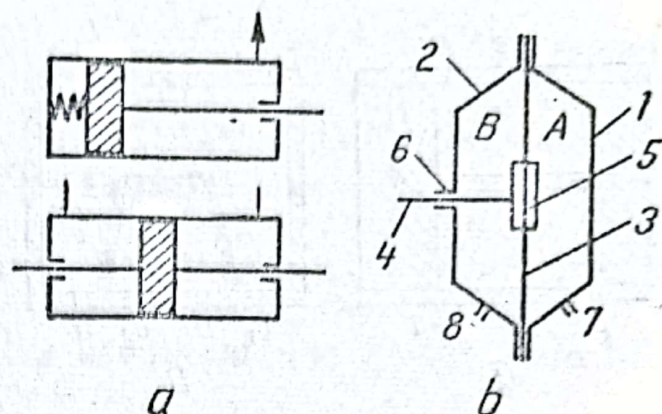


Fig. 8.8

• **Elementul de execuție (motorul) pneumatic.** Motoarele pneumatice pot fi de mai multe feluri: *rotative, liniare cu piston, liniare cu membrană.*

În figura 8.8. sînt reprezentate schemele de principiu pentru asemenea motoare.

Astfel, în figura 8.8., *a* sînt reprezentate două tipuri de **motoare liniare cu piston**, primul cu *tijă unilaterală și acțiune simplă*, iar al doilea cu *acțiune dublă și tijă bilaterală*. Mai există și alte tipuri constructive de asemenea motoare (cilindri pneumatici).

În figura 8.8., *b* este reprezentat un **motor cu mișcare oscilantă cu membrană**, care este format din două carcase metalice, 1 și 2, formînd spațiile A și B, separate între ele de membrana elastică 3. Deplasarea tije 4 pentru acționare se face prin deformarea membranei elastice, sub acțiunea aerului comprimat admis consecutiv prin orificiile 7 și 8 din spațiile A și B. Tija 4 este fixată de membrana 3 prin intermediul discurilor 5 și este etanșată față de carcasă prin garnitura 6. Organul de lucru care transformă energia pneumatică în energie mecanică este prin urmare membrana elastică. Asemenea motoare pot fi folosite cînd cursa ce se cere a fi obținută nu depășește 60 mm.

Motoarele pneumatice rotative se realizează de obicei cu palete și în principiu au construcții identice cu compresoarele rotative.

• **Aparatele pneumatice** au rolul de a conduce aerul comprimat și prin aceasta de a asigura funcționarea instalațiilor pneumatice. Principalele aparate pneumatice sînt: *distribuitoarele, supapele, rezistențele pneumatice.*

Distribuitoarele asigură distribuția aerului comprimat pe anumite circuite ale instalației, în funcție de comenzile primite. În figura 8.9 sînt reprezentate schematic cîteva tipuri de distribuitoare

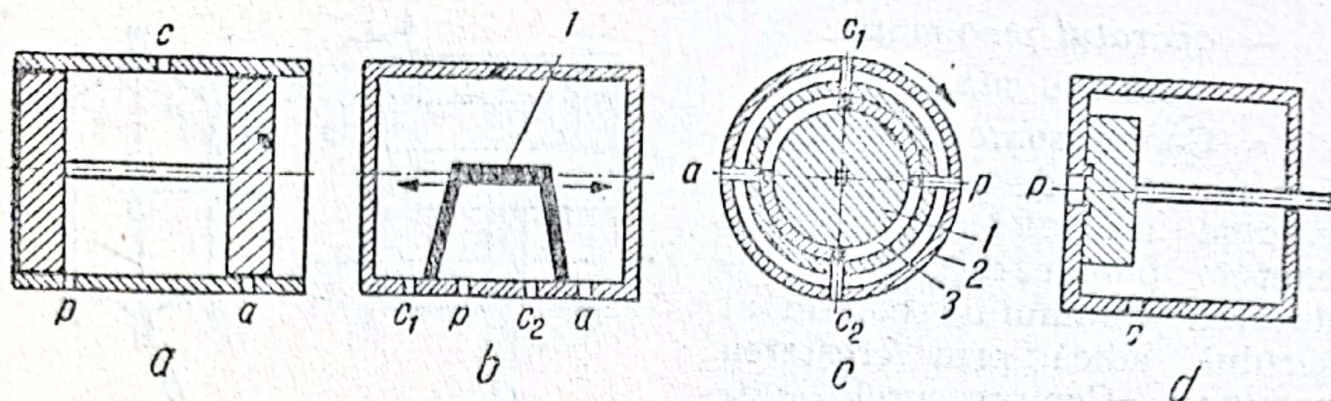


Fig. 8.9

pneumatice întâlnite mai frecvent. Cu mici deosebiri constructive, ele sînt asemănătoare cu cele hidraulice. Notățiile de pe figură se referă la orificiile de legătură a distribuitorilor cu sursa de aer comprimat (p), cu atmosfera (a) și cu diferite circuite de lucru c_1 , c_2 etc. ale instalației.

În figura 8.9, *a* este reprezentat un distribuitor cu organ de distribuție cu sertar rectiliniu cilindric. Se observă că la deplasarea celor două pistoane spre stînga se face legătura $p-c$ (sursa de aer comprimat cu circuitul de lucru), iar la deplasarea spre dreapta se face legătura $c-a$ (circuitul de lucru cu aerul atmosferic).

În figura 8.9, *b* este reprezentat un distribuitor cu sertar rectiliniu plan $p-c_2$; la deplasarea sertarului spre dreapta sau stînga, se fac legăturile c_1-p și c_2-a .

În figura 8.9, *c* este reprezentat un distribuitor pneumatic rotativ. În poziția de pe figură se realizează legăturile c_1-a și $p-c_2$, iar la o rotire a sertarului cu 90° se realizează legăturile c_2-a și $p-c_1$, pentru ca la o nouă rotire a sertarului cu 90° să se revină în poziția inițială.

În figura 8.9, *d* este reprezentat un distribuitor cu supapă, care închide sau deschide legăturile $p-c$.

Supapele reglează funcționarea instalației prin modificarea presiunii aerului comprimat din circuite, în funcție de condițiile impuse acționării. Ele sînt de două feluri: de presiune (limitează presiunea aerului) și de sens (dirijează circulația aerului într-un singur sens).

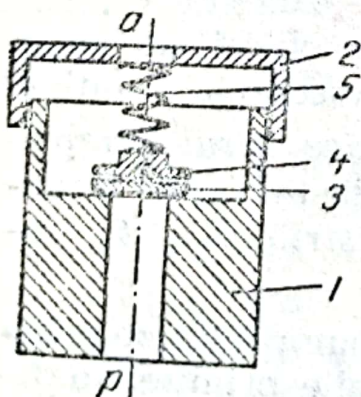


Fig. 8.10

În figura 8.10 este reprezentată schematic o supapă de siguranță compusă din: corpul supapei 1, capacul supapei 2 care prin înfiletare pe corpul supapei permite reglarea forței arcului spiral 5, deci reglarea presiunii de deschidere a supapei formate din scaunul

supapei 3 și talerul său 4. În practică se mai utilizează și alte tipuri de supape atât sub aspect funcțional, cât și constructiv.

Rezistențele pneumatice au rolul de a realiza căderi de presiune în anumite puncte ale circuitelor pneumatice. Ele sînt de două feluri: *drosele*, care limitează debitul de aer și *regulatoare de presiune*, cu rolul de a reduce presiunea de alimentare a unui circuit și de a o menține constantă.

Droselele au construcții întrucîtva asemănătoare cu supapele hidraulice (fig. 8.7).

Regulatoarele de presiune lucrează ca supape de presiune, ele fiind cunoscute și sub denumirea de *supape de siguranță* sau de *descărcare*.

- **Elementele auxiliare** servesc fie pentru pregătirea aerului comprimat, fie în vederea asigurării funcționării în bune condiții a întregii instalații. Principalele elemente ale unei instalații de acționare pneumatică sînt: *filtrele*, cu rol asemănător ca în instalațiile hidraulice, *ungătoarele*, *rezervoarele*, *amortizoarele de zgomot* etc.

E. EXEMPLE DE ACȚIONĂRI HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

- În figura 8.11 este reprezentată schema de principiu pentru acționarea unei prese hidraulice. Schema funcționează în modul următor: cu ajutorul generatorului (pompei) hidraulice *G*, uleiul este refulat sub presiune prin distribuitorul rotativ *D* (canalul 1—2) în cilindrul *C* al motorului liniar *M*, făcînd să se deplaseze pistonul *P* care împinge platforma *F*, comprimînd în acest fel sarcina *S*. În același timp, uleiul care se găsește deasupra pistonului *P* este condus prin distribuitorul *D* (canalul 3—4) în rezervorul *R*. Pentru revenirea pistonului *P* în poziția inițială (jos), se rotește distribuitorul *D* cu 90° . În acest caz uleiul este împins de generatorul *G* prin distribuitor (canalul 1—3) în partea de sus a cilindrului *C*, care face ca pistonul *P* să fie apăsător în jos. Uleiul din partea de jos a cilindrului (de sub pistonul *P*) este refulat prin distribuitor (canalul 2—4) în rezervorul *R*.

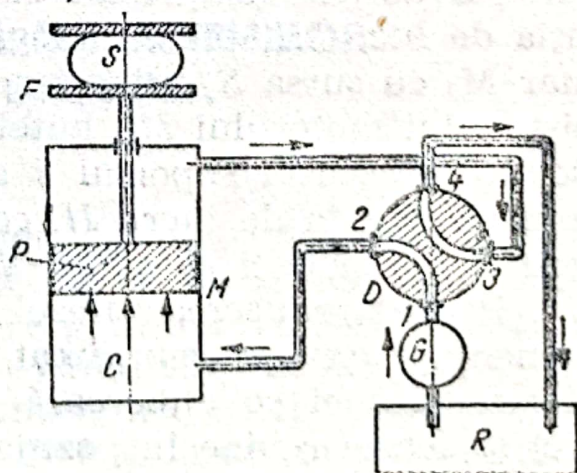


Fig. 8.11

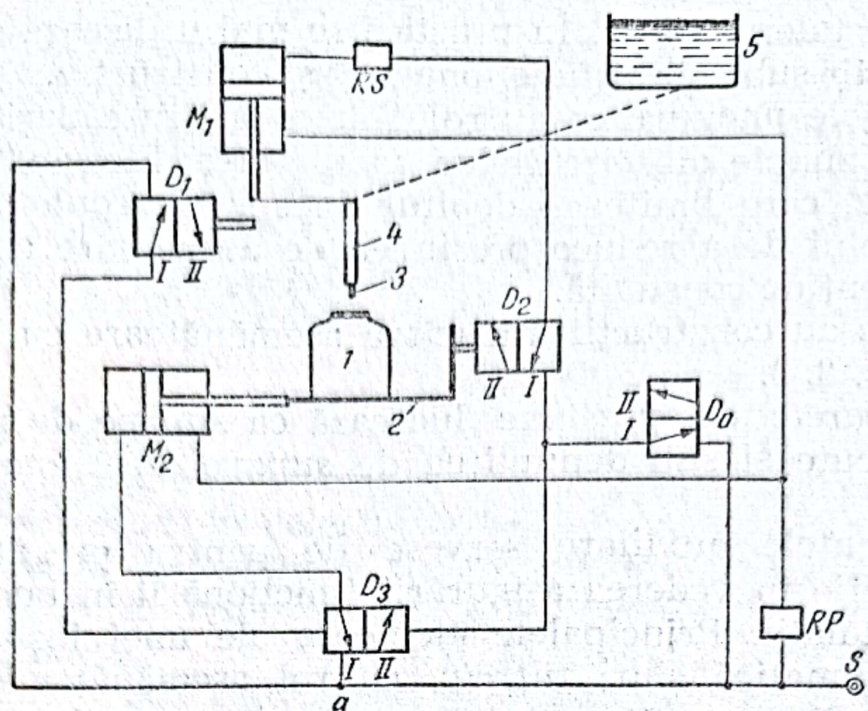


Fig. 8.12

• În figura 8.12 este reprezentată schematic o instalație de acționare pneumatică a unei stații de îmbuteliere. Pentru mecanizarea alimentării buteliei 1, aceasta se așază pe suportul orizontal 2. Umplerea se face din rezervorul S , prin intermediul unei tije 4, prevăzute la partea inferioară cu o supapă 3, care se deschide atunci când atinge fundul buteliei. Umplerea buteliei se face la acționarea manuală sau mecanică a distribuitorului D_0 , care comandă deplasarea buteliei în poziția de umplere, prin intermediul motorului liniar M_2 , alimentat de la distribuitorul D_3 . Acționând distribuitorul D_0 , el trece în poziția de lucru II , acționând de la sursa S de aer comprimat distribuitorul D_3 . Acesta, trecând în poziția de lucru II , pune în legătură camera din stînga motorului liniar M_2 cu sursa S , prin punctul a . Prin deplasarea spre dreapta a pistonului motorului M_2 , butelia 1 este adusă în poziția de umplere. Odată cu aceasta suportul 2 acționează distribuitorul D_2 , care trecînd pe poziția de lucru II , comandă coborîrea tije pistonului motorului M_1 și deci și a tije 4 prin care se face alimentarea buteliei. Pentru reducerea vitezei de coborîre a tije 4, în circuitul de alimentare cu aer comprimat se introduce droselul RS . După umplerea buteliei se eliberează distribuitorul D_0 (manual sau mecanic) și acesta revine în poziția I , întrerupînd alimentarea distribuitorului D_2 . În această poziție aerul comprimat trece de la sursa S ,

prin regulatorul de presiune RP , alimentînd motoarele M_1 și M_2 la o presiune mai joasă și readucînd astfel pistoanele lor în pozițiile inițiale. În felul acesta se dă comanda pentru ridicarea tijei 4, scoaterea buteliei din poziția de umplere și înlocuirea ei cu altă butelie.

F. DOMENII DE UTILIZARE A ACȚIONĂRILOR HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

- Acționările hidraulice sînt frecvent întîlnite, uneori în combinație cu cele electrice, la mașinile-unelte, la mașinile și utilajele din construcții, la mașini de ridicat și transportat, în acționările unor mașini miniere, la unele mașini agricole, pe avioane și pe nave etc.

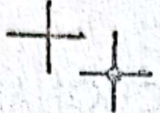
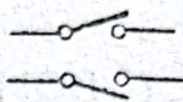
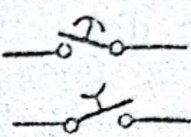
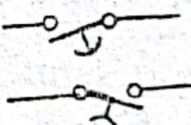
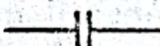
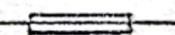
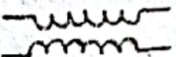
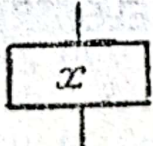
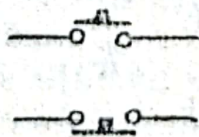
- Acționările pneumatice au de asemenea utilizări foarte diferite, cum ar fi de exemplu: la acționarea sculelor de mînă (perforatoare, polizoare, mașini de găurit, chei de înșurubat etc.), la mașini de ridicat și transportat, la acționarea preselor și ciocanelor mecanice, pentru acționarea unor mecanisme ale mașinilor de lucru, pentru comanda navelor, în aviație și pe nave maritime etc.

Capitolul 9

SCHEME DE COMANDĂ ALE SISTEMELOR DE ACȚIONARE ELECTRICĂ

Dezvoltarea în ritm rapid a sistemelor de acționare electrică, care trebuie să răspundă unor cerințe din ce în ce mai mari, a dus la necesitatea dezvoltării în mod corespunzător și a schemelor de comandă a acestora. Aceste scheme trebuie să satisfacă unele condiții ca: siguranța în funcționarea simplitatea, să fie elastice, adică să permită trecerea cu ușurință de la un sistem de comandă la altul, să permită o exploatare ușoară și comandată etc.

Tabelul 9.1

Denumirea simbolului	Simbolul standardizat R. S. România	Denumirea simbolului	Simbolul standardizat R. S. România
Încrucișare de conductoare: — fără legătură între ele — cu legătură		Contact de contactor sau releu: — normal deschis — normal închis	
Rezistență		Contact de releu, normal deschis: — cu temporizare la deschidere — cu temporizare la închidere	
Inductanță		Contact de releu normal închis: — cu temporizare la deschidere — cu temporizare la închidere	
Capacitate		Siguranță fuzibilă	
Transformator monofazat		Lampă de semnalizare	
Element redresor		Contact de releu termic	
Bobină de contactor sau releu (semn general)			
Buton de comandă: — pornire — oprire			

A. SIMBOLURI STANDARDIZATE ȘI NOTAȚII PENTRU ELEMENTELE COMPONENTE ALE UNEI SCHEME DE COMANDĂ

O schemă de comandă cuprinde în general un ansamblu de *elemente de execuție, de măsurare sau control, de protecție, precum și elemente intermediare*. Pentru ca o schemă de comandă să fie cât mai clară și mai ușor de urmărit, diferitele elemente din schemă se reprezintă prin simboluri. În tabelul 9.1 sînt date principalele simboluri folosite în schemele de comandă ale acționărilor electrice.

Dacă într-o schemă există mai multe contactoare sau relee, pentru a le distinge acestea se notează cu cîte o literă în spațiul notat cu x (în tabelul 9.1), de exemplu: bobina unui contactor de linie cu litera L , bobina unui contactor de accelerare cu A etc. Dacă în schemă există mai multe elemente care îndeplinesc același rol, de exemplu contactoare de accelerare, ele se notează cu aceeași literă, precedată de o cifră: $1A, 2A \dots$

Pentru înțelegerea mai ușoară a modului de funcționare a schemei de comandă, părțile componente ale unui element se plasează de obicei în circuitul în care acționează; de exemplu, bobina unui contactor este amplasată în circuitul care o alimentează, iar contactele sale — în circuitul pe care-l comandă. Astfel, în figura 9.1 este reprezentată schema de cuplare a statorului unui motor asincron trifazat la rețea. Cuplarea la rețea se face cu ajutorul unui buton de pornire P , prin intermediul unui contactor de linie L . Se observă că butonul P și bobina contactorului de linie L se amplasează într-un circuit separat, numit *circuit de comandă*, iar contactele normal deschise L — în circuitul de cuplare a statorului motorului la rețea, numit *circuit de forță*. Deoarece atît bobina contactorului L , cît și contactele L sînt părți componente ale aceluiași element, se notează cu aceeași literă semnificativă. Starea unui contact, *normal închis* sau *normal deschis*, corespunde stării nealimentate a bobinei aparatului respectiv. De exemplu, contactele L din circuitul de forță din figura 9.1 corespund stării în care bobina contactorului L este nealimentată.

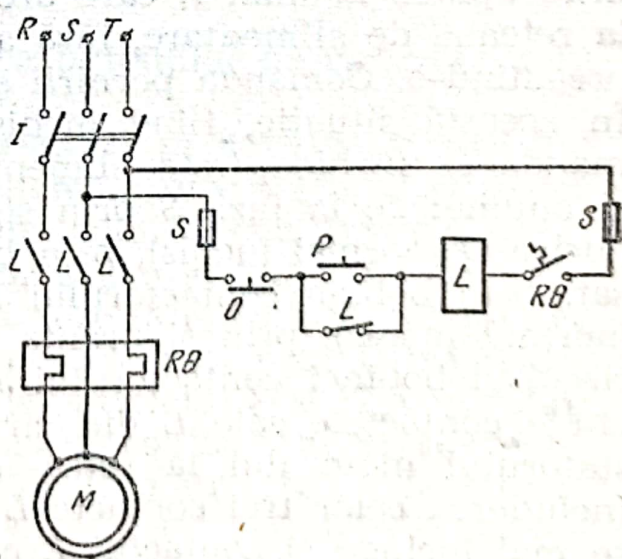


Fig. 9.1

Ele sînt normal deschise, deoarece atît timp cît nu este acţionat butonul de pornire P , bobina contactorului L este nealimentată şi nu acţionează asupra contactelor. În momentul acţionării butonului de pornire P , bobina contactorului L este alimentată şi acţionează asupra contactelor sale, închizîndu-le.

B. SCHEME DE COMANDĂ PENTRU PORNIREA MOTOARELOR ELECTRICE

Pornirea motoarelor electrice se face fie *prin cuplarea directă la reţea*, fie *prin intermediul rezistenţelor de pornire*, atunci cînd se impune limitarea curentului de pornire.

- În general, pornirea directă nu pune probleme deosebite în legătură cu schemele de pornire, ea făcîndu-se fie cu ajutorul unui întrerupător manual intercalat în circuitul de forţă al motorului, fie cu ajutorul unui buton de pornire şi al unui contactor, montate după o schemă principală ca cea din figura 9.1.

- În cazul pornirii cu trepte de rezistenţă este necesar ca scoaterea treptelor să se facă automat, pentru a se evita variaţiile bruşte de viteză sau depăşirea valorilor limită ale curenţilor.

1. SCHEME DE COMANDĂ PENTRU PORNIREA DIRECTĂ A MOTOARELOR ELECTRICE

- În figura 9.1 este reprezentată schema de pornire directă a unui motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit. După cum se observă, pornirea se realizează cu ajutorul unui contactor de linie L , ale cărui contacte L din circuitul de forţă realizează cuplarea statorului motorului la reţea. În schemă este prevăzut şi un întrerupător manual I , care are rolul de cuplare a întregii scheme la reţeaua de alimentare, fără a realiza pornirea motorului, ci doar pregătind-o. Comanda pornirii se dă apăsînd butonul de pornire P . În această situaţie, fiind închis întrerupătorul I , circuitul de comandă se închide (este alimentat) între fazele S şi T ale reţelei şi anume: de la faza S prin siguranţa fuzibilă S , prin butonul de oprire O (normal închis), prin butonul de pornire P , care este apăsat, prin bobina contactorului L , prin contactul releului termic R (normal închis), prin siguranţa fuzibilă S , la faza T . Închizîndu-se circuitul bobinei contactorului L , acesta va funcţiona şi îşi va închide contactele sale L din circuitul de forţă, realizînd cuplarea statorului motorului la reţea, deci pornirea motorului. Odată cu închiderea celor trei contacte L din circuitul de forţă al motorului, se mai închide şi contactul L care este legat în paralel cu butonul de pornire P . Prezenţa acestui contact este necesară deoarece bu-

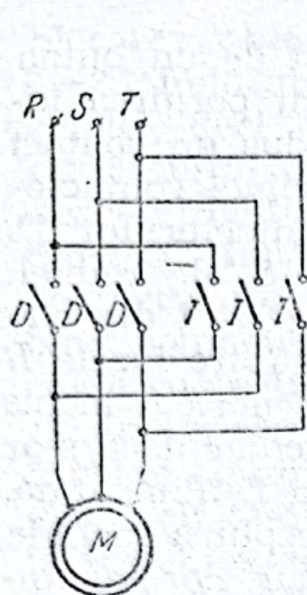


Fig. 9.2

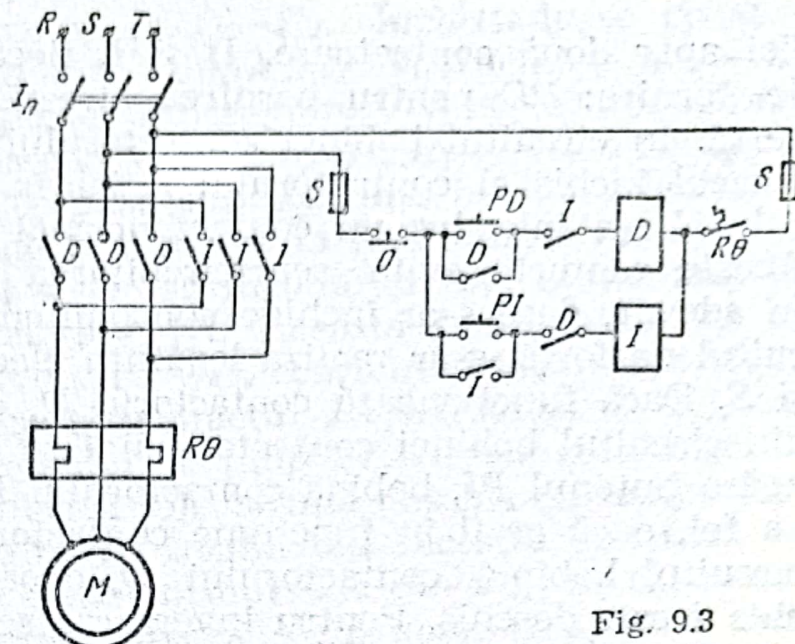


Fig. 9.3

tonul de pornire P se menține închis numai atât timp cât este apăsat. Dacă nu este apăsat, circuitul de alimentare al bobinei contactorului L se deschide, se vor deschide contactele L din circuitul de forță și motorul se oprește. Existența contactorului L în paralel cu butonul P asigură continuitatea circuitului, chiar dacă butonul P nu mai este apăsat. Contactul L montat în paralel cu butonul P se numește *contact de blocare* a butonului de pornire.

După cum se observă, cele două circuite ale schemei sînt protejate și anume: circuitul de comandă prin siguranțele fuzibile S , iar circuitul de forță este prevăzut pe două faze cu elementele de încălzire ale unui releu termic $R\theta$ care, atunci cînd sarcina motorului crește peste limita admisă, comandă deschiderea contactului $R\theta$ din circuitul bobinei contactorului L și deci motorul se oprește.

Motorul poate fi oprit prin apăsarea butonului de oprire O , care deschide circuitul bobinei contactorului L .

• **Pornirea motorului în ambele sensuri** se realizează utilizînd două contactoare de linie, unul pentru mers direct (D) și al doilea pentru mers invers (I). În adevăr, după cum se știe, pentru inversarea sensului de rotație al unui motor asincron trifazat este necesar să se inverseze legăturile a două faze ale motorului la rețea (fig. 9.2). Se observă că dacă funcționează contactorul D , se realizează următoarele legături între fazele rețelei și ale motorului: $R-U$, $S-V$ și $T-W$. Dacă funcționează contactorul I , se realizează legăturile: $R-V$, $S-U$, $T-W$, deci se inversează legăturile fazelor U și V ale motorului.

Schema completă pentru comanda pornirii motorului în ambele sensuri este indicată în figura 9.3. Față de schema din figura 9.1,

aici apar două contactoare, D și I , fiecare comandat de un buton de pornire: PD pentru pornirea directă și PI pentru pornirea inversă. În circuitul bobinei contactorului D s-a introdus un contact normal închis al contactorului I , iar în circuitul bobinei contactorului I s-a introdus un contact normal închis al contactorului D . Aceste contacte evită scurtcircuitarea fazelor R și S ale rețelei. În adevăr, dacă s-ar închide concomitent contactele D și I din circuitul de forță, s-ar realiza legătura electrică directă între fazele R și S . Dacă funcționează contactorul D , contactul său normal închis din circuitul bobinei contactorului I se deschide și, chiar dacă s-ar apăsa butonul PI , bobina contactorului I nu ar putea fi alimentată. La fel, dacă ar fi în funcțiune contactorul I nu s-ar putea închide circuitul bobinei contactorului D , deoarece contactul normal închis I este deschis. Pentru inversarea sensului de rotație, de exemplu din sens direct în sens invers, este necesar să se apese butonul de oprire O , contactorul D iese din funcțiune, contactul său normal închis se reînchide și abia atunci se poate comanda butonul de pornire PI pentru inversarea sensului de rotație.

• **Oprirea motorului**, indiferent de sensul în care se rotește, se face prin apăsarea butonului O .

2. SCHEME DE COMANDĂ PENTRU PORNIREA MOTOARELOR ELECTRICE ÎN FUNCȚIE DE TIMP

Pentru a realiza pornirea în funcție de timp a motoarelor electrice este necesar ca în schemă să fie folosite elemente care măsoară timpul. Asemenea elemente sînt relee de timp.

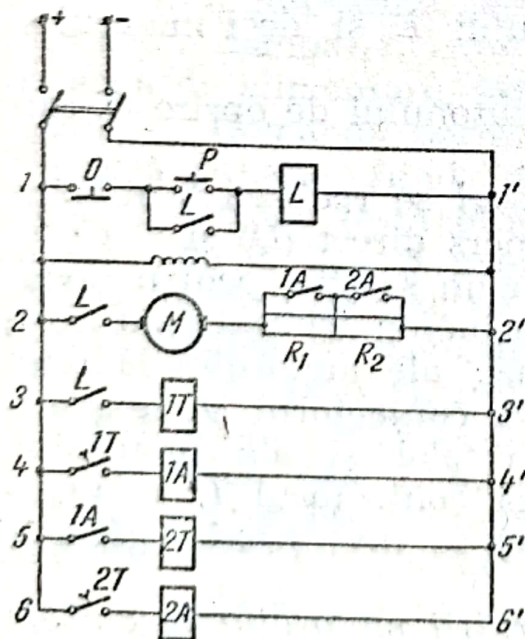


Fig. 9.4

• În figura 9.4. se dă schema de pornire a unui motor de curent continuu derivație, în funcție de timp, pornirea făcîndu-se cu două trepte de rezistență, R_1 și R_2 . Schema funcționează astfel:

Se închide întrerupătorul manual I , punîndu-se sub tensiune înfășurarea de excitație a motorului și pregătind astfel pornirea sa. Apăsînd butonul de pornire P (circuitul 1—1'), se închide circuitul bobinei contactorului de linie L . Prin aceasta se închid contactele L din circuitul indusului motorului M (2—2'), din circuitul bobinei releului de timp $1T$ (3—3') și pentru

blocarea butonului de pornire P ($1-1'$). Închizându-se circuitul $2-2'$, indusul motorului M este cuplat între bornele $+$ și $-$ ale rețelei, deci motorul începe să funcționeze, având legate în serie cu circuitul indusului rezistențele de pornire R_1 și R_2 . Prin închiderea circuitului $3-3'$ este pusă sub tensiune bobina releului de timp $1T$; după un timp t_1 de la punerea în funcțiune a releului $1T$, contactul său din circuitul $4-4'$ se închide și este alimentată bobina contactorului de accelerare $1A$. Aceasta funcționând, își închide contactul său din circuitul $2-2'$, scurtcircuitând prima treaptă de rezistență R_1 , precum și contactul $1A$ (circuitul $5-5'$), care închide circuitul bobinei releului de timp $2T$. Acesta este astfel reglat încît să-și închidă contactul său normal deschis cu temporizare la închidere după un timp t_2 . La închiderea acestui contact, se închide circuitul bobinei contactorului $2A$ ($6-6'$), al cărui contact $2A$ închizându-se scurtcircuitază și a doua treaptă a rezistenței $2R$ din circuitul indusului motorului. Ambele trepte de rezistență fiind scoase din circuit, motorul se va accelera pînă la viteza sa de regim n_r .

Se observă deci că trecerea funcționării motorului de pe o treaptă de rezistență pe alta se face automat, fiind necesară doar comanda inițială de pornire, prin apăsarea butonului P .

Oprirea se face acționînd butonul de oprire O (circuitul $1-1'$), toate elementele schemei — excepție făcînd circuitul de excitație al motorului — fiind scoase de sub tensiune.

○ **Observație.** Pentru a nu complica schema din figura 9.4 au fost omise elementele de protecție. Într-o schemă uzuală, introducerea acestor elemente este însă obligatorie.

● **În cazul motorului asincron**, treptele de rezistență pentru pornire se introduc în circuitul rotoric al motorului (fig. 9.5), o astfel de pornire fiind deci posibilă numai în cazul motorului asincron cu rotorul bobinat. Schema funcționează la fel ca cea precedentă, cu mențiunea că contactoarele de accelerare $1A$ și $2A$ scurtcircuitază treptele de rezistență R_1 , respectiv R_2 , pe toate cele trei faze rotorice. După scurtcircuitarea treptei de rezistență R_2 , motorul funcționează în continuare ca un motor asincron în scurtcircuit, accelerîndu-se pînă la atingerea turației de regim n_r . În acest caz, contactoarele de linie L și de accelerare $1A$ pot fi prevăzute cu relee pendulare de timp, adică și cu contacte normal deschise cu temporizare la închidere. În acest caz, la apăsarea butonului P , se alimentează bobina contactorului de linie L , care închide contactele L pentru cuplarea motorului la rețea și, după un timp t_1 , se închide contactul temporizat L din circuitul bobinei contactorului de accelerare $1A$. Acesta, funcționînd, își închide contactele $1A$ din circuitul

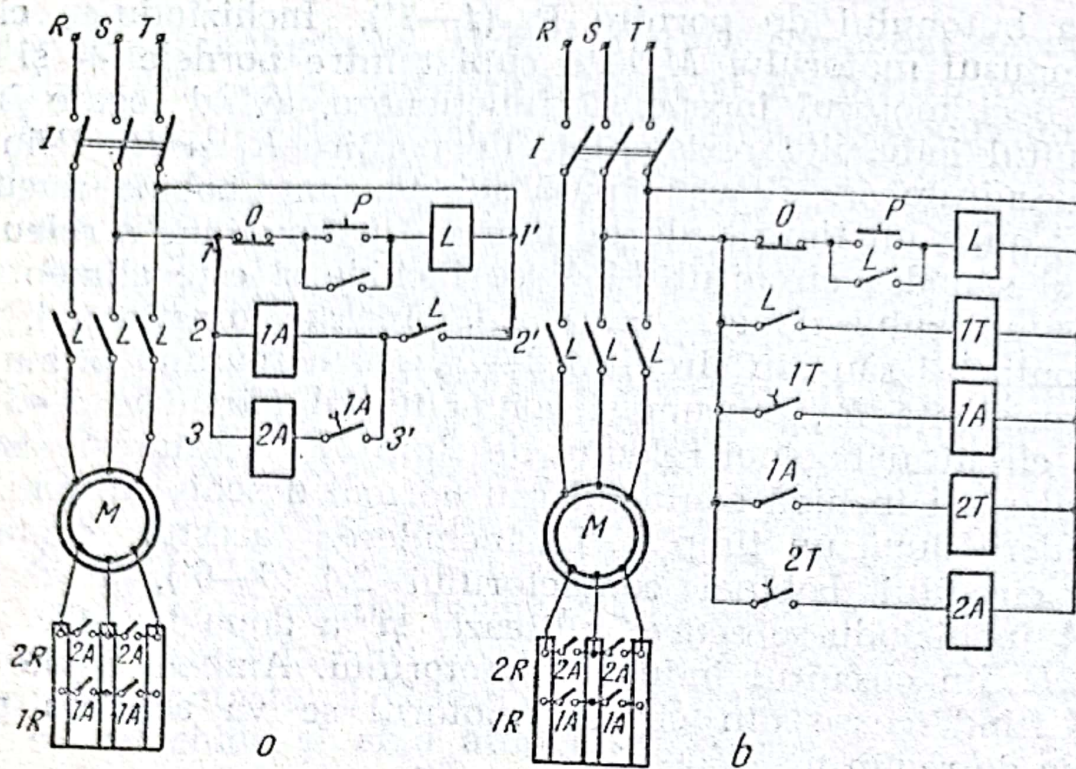


Fig. 9.5

rotoric, scurtcircuitând treptele de rezistență R_1 pe toate cele trei faze rotorice. După un timp t_2 se închide și contactul temporizat $1A$ din circuitul 3—3', care închide circuitul bobinei contactorului de accelerare $2A$. Acesta funcționând, scurtcircuitază și cea de-a doua treaptă de rezistență $2R$, prin închiderea contactelor $2A$, iar motorul funcționează în continuare ca un motor asincron în scurtcircuit, accelerându-se pînă la atingerea vitezei sale de regim n_r .

○ Se menționează că în lipsa contactelor prevăzute cu releu pendulare de timp, schema poate fi realizată cu contactoare obișnuite de curent alternativ, folosindu-se separat și releu de timp ca în figura 9.5, b.

C. SCHEME DE ACȚIONARE ELECTRICĂ CU ASIGURAREA UNEI ANUMITE SUCCESIUNI DE FUNCȚIONARE A MOTOARELOR

În anumite situații, este necesar ca la acționarea unei mașini de lucru cu mai multe motoare, intrarea și ieșirea din funcțiune a motoarelor să se facă într-o anumită ordine.

De exemplu, în cazul acționării unui transportor cu bandă format din două sau trei secțiuni, ordinea de acționare la pornirea transportorului trebuie să fie de la ultima secțiune spre prima.

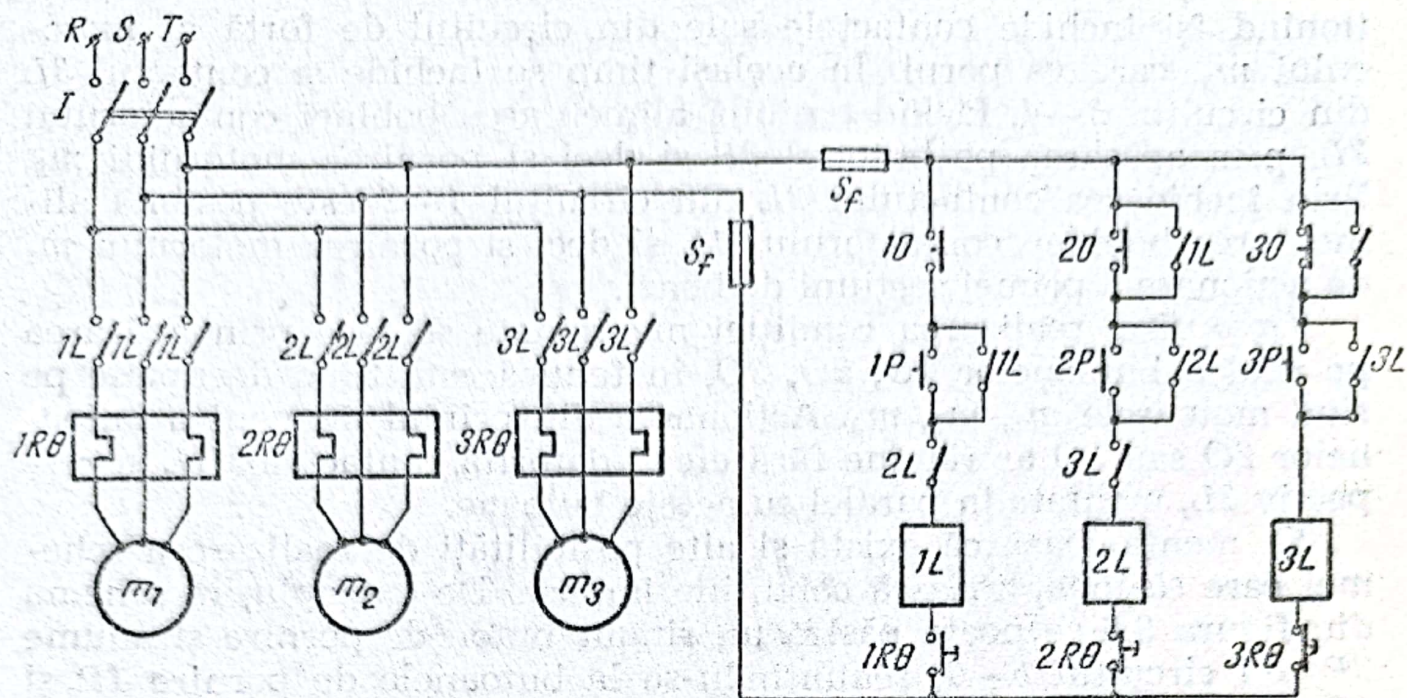


Fig. 9.6

Acest lucru se impune pentru motivul că, dacă succesiunea de pornire ar fi de la prima secțiune spre ultima, la întârzierea punerii în mișcare a unei secțiuni intermediare, materialul transportat pe secțiunea anterioară s-ar aglomera pe secțiunea nepusă în mișcare și astfel ar cădea de pe bandă. La fel s-ar întâmpla dacă oprirea secțiunilor s-ar face de la ultima secțiune spre prima. Deci la oprire, ordinea de scoatere din funcțiune trebuie să fie de la prima secțiune spre ultima. În ipoteza că cele trei secțiuni ale transportorului sînt acționate de motoarele m_1 , m_2 și m_3 , o schemă de comandă care realizează condițiile menționate este indicată în figura 9.6.

În adevăr, așa cum se observă de pe schemă, cele trei motoare sînt comandate respectiv de contactoarele $1L$, $2L$, $3L$. Dacă s-ar încerca pornirea motorului m_1 de acționare a primei secțiuni a benzii transportoare, prin apăsare pe butonul de pornire $1P$, circuitul 1—2 al bobinei contactorului $1L$ nu s-ar închide, deoarece contactul contactorului $2L$ este deschis și deci cuplarea la rețea a motorului m_1 nu ar fi posibilă. Dacă s-ar apăsa pe butonul de pornire $2P$ din circuitul 3—4 pentru a închide circuitul bobinei contactorului $2L$, acest circuit nu s-ar închide, deoarece este deschis contactul contactorului $3L$. Rezultă deci că, pentru a putea realiza pornirea motoarelor m_1 , m_2 , m_3 pentru acționarea celor trei secțiuni ale benzii, este necesar să se acționeze butonul de pornire $3L$. În felul acesta, circuitul 5—6 este închis între fazele S și T ale rețelei de alimentare și este alimentată bobina contactorului $3L$. Aceasta ac-

ționind își închide contactele sale din circuitul de forță al motorului m_3 , care va porni. În același timp se închide și contactul $3L$ din circuitul 3—4, făcând posibilă alimentarea bobinei contactorului $2L$, prin apăsarea pe butonul $2P$ și deci și pornirea motorului m_2 . Prin închiderea contactului $2L$ din circuitul 1—2 este posibilă alimentarea bobinei contactorului $1L$ și deci și pornirea motorului m_1 de acționare a primei secțiuni de benzi.

La oprire, realizarea condiției menționate se face prin apăsarea pe rînd a butoanelor $1O$, $2O$, $3O$, în felul acesta fiind decuplate pe rînd motoarele m_1 , m_2 , m_3 . Acționarea din primul moment a butoanelor $2O$ sau $3O$ ar rămîne fără efect, datorită contactelor $1L$ și respectiv $2L$, montate în paralel cu aceste butoane.

Se menționează că există și alte posibilități de realizare a schemei care să îndeplinească condițiile impuse. De exemplu, în schema din figura 9.6 se poate păstra un singur buton de pornire și anume $3P$ din circuitul 5—6, renunțîndu-se la butoanele de pornire $1P$ și $2P$. După cum se observă, în acest caz, apăsînd pe butonul $3P$ se închide circuitul bobinei contactorului $3L$. Acesta își închide contactul său din circuitul 3—4 și deci se închide circuitul bobinei contactorului $2L$, al cărui contact închide circuitul 1—2 al bobinei contactorului $1L$. În felul acesta, bobinele contactoarelor $3L$, $2L$, $1L$ sînt alimentate succesiv, determinînd alimentarea pe rînd, la intervale foarte scurte, a motoarelor m_3 , m_2 , m_1 .

Partea a doua

AUTOMATIZĂRI

Capitolul 10

NOȚIUNI GENERALE DE TEORIA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

A. CONSIDERAȚII GENERALE

Reglarea are sarcina de a aduce și menține o mărime fizică dintr-un proces tehnologic la o anumită valoare. Această mărime fizică se numește *mărime reglată* și poate fi: nivel, presiune, debit, temperatură, turație, tensiune, curent etc. Valoarea la care trebuie adusă mărimea reglată se numește *mărime de referință*, *mărime prescrisă* sau *mărime de consemn*.

Un proces tehnologic nu se desfășoară niciodată timp îndelungat în stare de echilibru. El este continuu perturbat și deci trebuie continuu reglat printr-o intervenție manuală sau automată, pentru a compensa perturbațiile care apar. În acest scop, într-o reglare, mărimea reglată este măsurată și comparată prin diferență cu mărimea de referință. Dacă această diferență este diferită de zero, se efectuează o corectare în procesul reglat pentru a se obține o egalitate între mărimea reglată și mărimea prescrisă. Când corectarea este făcută de un operator, *reglarea* se numește *manuală*; dacă operațiile respective sînt efectuate numai de dispozitive prevăzute în acest scop, *reglarea* este *automată*.

În cele ce urmează se va expune mai întîi o reglare manuală.

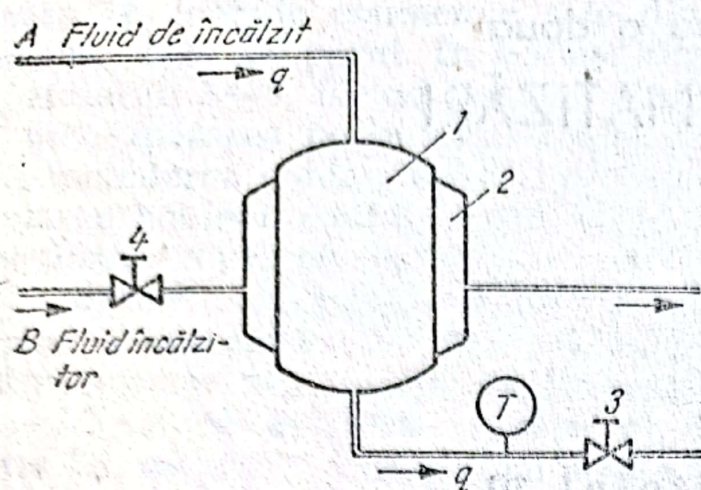


Fig. 10.1

B. REGLAREA MANUALĂ

S-a luat ca exemplu instalația tehnologică din figura 10.1 și anume un *schimbător de căldură*. El cuprinde rezervorul 1 prin care circula fluidul încălzitor B, robinetul 3 cu care se modifică debitul q al fluidului A, robinetul 4 cu care se modifică debitul fluidului încălzitor B

și termometrul T cu care se măsoară temperatura fluidului A. Operațiile pe care le efectuează operatorul sînt următoarele:

- memorează temperatura θ_0 pe care trebuie să o aibă fluidul A după încălzire, valoare care este indicată prin documentația sarcinilor schimbătorului de căldură;
- citește indicația termometrului T , adică temperatura θ a fluidului A;
- compară această temperatură θ cu temperatura cerută θ_0 , făcînd diferența $\theta_0 - \theta$;
- face un calcul mintal pe baza experienței avute, pentru deschiderea sau închiderea suplimentară a robinetului 4, în vederea obținerii egalității $\theta = \theta_0$;
- execută manevra respectivă asupra robinetului 4;
- așteaptă ca efectul acțiunii sale să se producă;
- reia, dacă este cazul, acțiunile descrise mai sus.

Dacă operatorul a izbutit să obțină ca temperatura fluidului A să fie $\theta = \theta_0$, această situație este denumită *regim staționar al pro-*

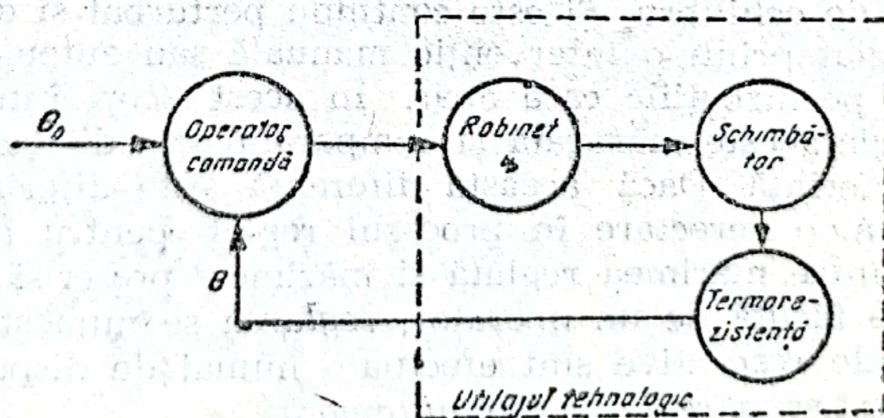


Fig. 10.2

cesului reglat. Perturbațiile care pot apărea sînt: creșterea debitului q sau modificarea temperaturii cu care intră fluidul A în schimbător, modificarea debitului sau a temperaturii fluidului încălzitor B . La apariția lor, temperatura θ a fluidului A la ieșirea din schimbător se va modifica și deci va fi necesară o nouă intervenție a operatorului pentru a se obține egalitatea $\theta = \theta_0$.

Aceste operații constituie o transmitere de informații și acțiuni, reprezentate simbolic în figura 10.2. Se realizează în felul acesta un circuit închis care se parcurge în același sens, pînă cînd se ajunge la un nou regim staționar.

C. SISTEME DE REGLARE AUTOMATĂ

Într-un sistem de reglare automată, operațiile care în reglarea manuală erau în sarcina unui operator sînt preluate de un ansamblu de aparate.

Exemplul 1. Să considerăm același schimbător de căldură ca cel din figura 10.1, completat cu o serie de aparate care să asigure o reglare automată a procesului (fig. 10.3). Temperatura fluidului care se încălzește se măsoară cu ajutorul termocuplului T . Tensiunea u_r dată de termocuplu și proporțională cu temperatura se scade din tensiunea u_i , prescrisă cu un potențiomtru, rezultînd $u_a = u_i - u_r$. Tensiunea u_a este amplificată de amplificatorul A , obținîndu-se $u_c = k u_a$ (unde k este factorul de amplificare al amplificatorului). Această tensiune este convertită într-o presiune $p_c = k_c u_c$ (unde $k_c = \text{const.}$) de către blocul $C-E/P$, numit convertor electro-pneumatic. Presiunea p_c se aplică robinetului de reglare V , determinînd modificarea poziției acestuia.

Să presupunem că dintr-o cauză oarecare (de exemplu, scăderea temperaturii fluidului B) scade temperatura fluidului încălzit la ieșirea din schimbătorul de căldură. Acest lucru este sesizat de termocuplu și ca atare u_r scade, u_c crește și drept urmare cresc u_c și p_c . Crescînd presiunea de comandă p_c , robinetul V se deschide mai mult și în schimbător pătrunde mai mult fluid încălzi-

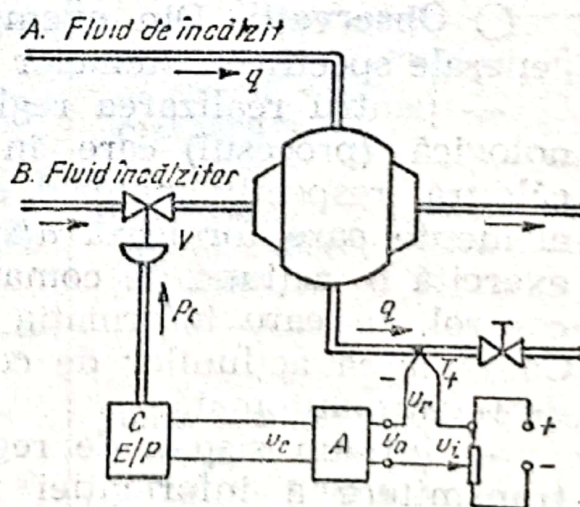


Fig. 10.3

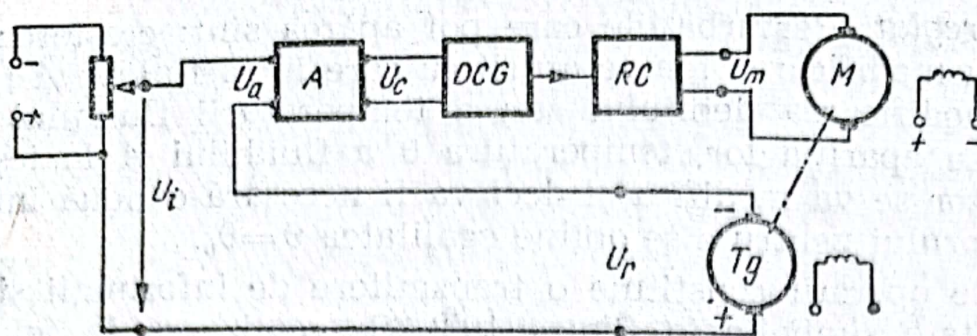


Fig. 10.4

tor. Prin aceasta se va mări temperatura fluidului încălzit, compensînd astfel scăderea inițială de temperatură.

Dacă apare o creștere a temperaturii față de valoarea prescrisă prin tensiunea u_i , compensarea sistemului intervine în mod similar, numai că acum mărimile din sistem variază în sens invers față de cazul precedent.

Exemplul 2. Să considerăm sistemul de reglare automată a turației unui motor de c.c. cu excitație separată reprezentat în figura 10.4. Turația motorului M este măsurată cu tahogeneratorul Tg (o mașină electrică ce generează o tensiune proporțională cu turația cu care este rotit rotorul său) plasat pe același ax cu motorul M .

Să presupunem o creștere a cuplului rezistent la arborele motorului. Atunci turația motorului scade, scade și tensiunea u_r și tensiunea $u_a = u_i - u_r$ crește. La ieșirea amplificatorului A crește tensiunea u_c aplicată dispozitivului de comandă pe grilă DCG , care comandă redresorul comandat RC . Se mărește astfel tensiunea u_m aplicată înfășurării rotorice a motorului și turația sa crește, compensînd scăderea inițială de turație.

Dacă se dorește să se prescrie o altă turație, se modifică tensiunea u_i .

○ **Observații.** Din exemplele prezentate rezultă unele aspecte generale specifice sistemelor de reglare automată:

— pentru realizarea reglării automate, pe lângă instalația tehnologică (procesul) care în exemplele date era schimbătorul de căldură, respectiv motorul electric — se mai introduc o serie de elemente care formează *dispozitivul de automatizare (DA)*. Acesta exercită o acțiune de comandă asupra procesului și o acțiune de control, în care informația este transmisă de la proces spre *DA*. Combinarea acțiunilor de comandă și control constituie un proces de reglare automată:

— într-un sistem de reglare automată (*SRA*) se realizează o transmitere a informației pe *legătura directă*, de la intrare (mărimea de prescriere — u_i în exemplele date) spre ieșire (mărimea

reglată, care în exemple era temperatura, respectiv viteza de rotație); de asemenea, există o transmitere a informației pe *legătura inversă* (de reacție negativă), de la ieșire spre intrare. SRA apare ca un sistem închis (se mai numește și *bucă de reglare*), în care informația este retransmisă la punctul inițial. Funcționarea se bazează pe determinarea abaterii mărimii de ieșire de la valoarea prescrisă și pe intervenția DA în sensul micșorării acestei abateri. Determinarea abaterii se face prin compararea mărimii reglate, măsurate de traductor, cu valoarea impusă. Această comparație se face prin scăderea celor două mărimi (în cele două exemple: $u_a = u_i - u_r$); rezultă o mărime care este prelucrată de celelalte elemente ale DA, astfel încât să se intervină asupra procesului în sensul dorit. În realizarea acțiunii de reglare automată, esențială este existența legăturii inverse, de reacție negativă;

— în exemplele date, tensiunea u_a , care reprezintă abaterea mărimii reglate de la valoarea prescrisă, este amplificată de amplificatorul A. Dacă nu s-ar face amplificarea, pentru a se realiza o acțiune eficientă asupra procesului ar fi necesare abateri u_a mari; DA ar lucra deci numai atunci când ar exista abateri mari și ca urmare reglarea s-ar face cu erori mari. Introducerea amplificării $k = \left(\frac{u_r}{u_a} > 1\right)$ asigură micșorarea erorilor;

— funcționarea SRA cu bune performanțe nu se poate asigura întotdeauna printr-o amplificare corespunzătoare. Apare necesitatea ca între mărimile u_r și u_a să existe o legătură mai complexă și

Tabelul 10.1

Simboluri și semne convenționale în schemele bloc

Mărimea (semnalul)	Semn convențional	Semnificația
Mărime de intrare i Mărime de ieșire e	$\xrightarrow{i, e}$	Săgeata indică sensul în care circulă semnalul (sensul realizării acțiunii)
Punct de bifurcație a unui semnal	$\begin{array}{c} x \quad x \\ \downarrow x \end{array}$	Ramificarea semnalului x în două direcții, fără a fi modificat
Punct în care se face suma sau diferența a două (semnale sau mărimi)	$\begin{array}{c} z \quad x \\ \rightarrow \bigcirc \leftarrow \\ \uparrow \pm y \end{array}$	$x = z \pm y$ Suma sau diferența se indică prin semnul $+$ sau $-$ atașat mărimii y

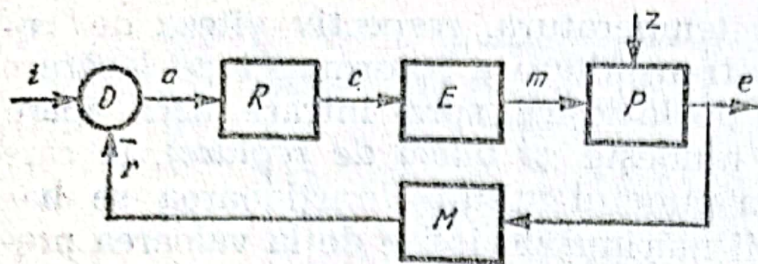


Fig. 10.5

nu numai o simplă proporționalitate. Această legătură este realizată de un bloc numit *regulator*. În cele ce urmează, se va reprezenta, în schemele SRA, în locul amplificatorului *A* un regulator *R*. Funcțiile regulatorului vor

fi prezentate mai amănunțit în capitolele următoare. În forma sa cea mai simplă, un regulator este un amplificator;

— pentru studierea unui sistem de reglare automată, practica a consacrat reprezentarea simbolică a acestuia denumită *schemă funcțională*, în care se indică elementele componente, legăturile între aceste elemente, mărimile care se transmit prin aceste legături și sensul de transmitere a acestora. Schema funcțională întrebuintează simbolurile și semnele convenționale din tabelul 10.1.

Întrebuintând aceste semne convenționale, s-a întocmit schema funcțională a unui sistem de reglare automată din figura 10.5, care este comentată mai amănunțit în cele ce urmează.

1. PROCES (SIMBOL *P*). MĂRIME DE IEȘIRE (SIMBOL *e*).

Mărimea din procesul tehnologic pentru care se realizează reglarea automată se numește *mărime de ieșire* și se notează cu *e*. Se mai întrebuintează și denumirile de *mărime reglată* sau *parametru reglat*. Sistemul de reglare automată se atașează procesului cu scopul obținerii unei anumite valori pentru mărimea de ieșire *e*, valoarea constantă de cele mai multe ori, și care este stabilită prin forma mărimii de intrare *i* în sistemul de reglare automată. Asupra procesului acționează și perturbațiile *z*. Efectul perturbațiilor trebuie să fie compensat prin acțiunea mărimii de execuție *m*, elaborate de *DA*.

2. ELEMENT DE MĂSURARE (SIMBOL *M*). MĂRIME DE REACȚIE (SIMBOL *r*).

Acest element, denumit *traductor*, servește pentru măsurarea mărimii de ieșire *e* din proces. Mărimea de ieșire din traductor se numește *mărime de reacție* și se notează cu *r*.

○ Notă. În unele cazuri, elementul de măsurare este format din mai multe aparate, cu scopul de a se asigura mărimii de reacție r o anumită natură fizică și un anumit interval de variație, cerute de caracteristicile elementului de comparație.

3. ELEMENT DE COMPARAȚIE (SIMBOL D).
MĂRIME DE INTRARE (SIMBOL i).
MĂRIME DE ACȚIONARE (SIMBOL a).

În elementul de comparație se realizează următoarea relație:

$$a = i - r.$$

Mărimea de intrare i se aplică sistemului de reglare automată ca o intrare a elementului de comparație, bineînțeles avînd aceeași natură fizică ca și mărimea de reacție r . De cele mai multe ori i are o valoare constantă $i = i_0$. Dacă i este variabilă în timp, sistemul de reglare se numește sistem de urmărire. În orice caz, sistemul de reglare din figura 10.5 are drept scop să aducă mărimea de ieșire e la egalitate cu mărimea de intrare i , evident ținînd cont de transformarea mărimii e în r , oricare ar fi variațiile acestuia sau perturbațiile care apar în desfășurarea procesului P .

4. REGULATOR (SIMBOL R).
MĂRIME DE COMANDĂ (SIMBOL c).

Regulatorul primește la intrare mărimea de acționare a și produce la ieșire mărimea de comandă c . Mărimea c este o funcție prestabilită de mărimea a și de derivata și integrala în raport cu timpul ale lui a . În unele cazuri, relația dintre c și a este discontinuă.

○ Notă. În realizările constructive, regulatorul și elementul de comparație formează de obicei o unitate, care are ca mărimi de intrare pe i și r și ca mărime de ieșire, pe c .

5. ELEMENT DE EXECUȚIE (SIMBOL E).
MĂRIME DE EXECUȚIE (SIMBOL m).

Mărimea de comandă c se aplică la intrarea elementului de execuție E . Mărimea de ieșire a acestui element, denumită mărime de execuție și notată cu m , se aplică procesului P cu scopul de a

influența desfășurarea acestuia și a se obține mărimea de ieșire e în conformitate cu cerințele.

○ Notă. În numeroase cazuri, se intercalează între regulator și elementul de execuție un adaptor (convertor), care transformă mărimea de comandă, de exemplu, din electrică în pneumatică, dacă regulatorul este electric și elementul de execuție este pneumatic, sau din pneumatică în electrică, dacă regulatorul este pneumatic și elementul de execuție — electric.

6. MĂRIME DE PERTURBAȚIE (SIMBOL z).

Orice mărime, alta decât mărimea de execuție m , aplicată din exterior procesului și care tinde să influențeze mărimea de ieșire e a sistemului de reglare automată, se numește mărime de perturbație sau pe scurt perturbație.

Capitolul 11

COMPONENȚA UNUI SISTEM DE REGLARE

A. NOȚIUNI GENERALE

Un sistem de reglare automată cuprinde următoarele două părți:

- procesul reglat (instalația tehnologică);
- dispozitivul de automatizare.

Pentru ca să se poată realiza un sistem de reglare satisfăcător și cu o dotare de aparatură adecvată, caracteristicile procesului precum și cerințele impuse reglării automate trebuie stabilite cu precizie de la început. În funcție de acestea, proiectantul alege dispozitivul de automatizare. Dispozitivul de automatizare cuprinde în principal elementul de măsurare M , regulatorul R , care de obicei formează o singură unitate constructivă cu elementul de comparație D , elementul de execuție E și — de la caz la caz — convertoare, adaptoare și elemente de calcul.

B. PROCESUL REGLAT

Caracteristicile generale ale proceselor din punctul de vedere al reglării lor sînt descrise cu ajutorul unor relații stabilite în mod teoretic sau experimental. Exprimarea analitică a desfășurării procesului, în funcție de diferitele sale mărimi de intrare și ieșire, constituie *modelul matematic al procesului*. Deseori nu se cunosc suficient factorii care determină caracteristicile procesului, pentru ca un asemenea model matematic să se poată stabili cu destulă precizie pe baza unei analize teoretice și este necesar ca această analiză să fie suplimentată cu date experimentale și cu experiența obținută în reglarea proceselor existente de același fel.

Se va considera — ca de exemplu — procesul din figura 11.1: mărimea care trebuie reglată este înălțimea h a lichidului dintr-un rezervor deschis. Dacă procesul este lăsat să se desfășoare fără nici o reglare, în mod normal înălțimea h a lichidului va ajunge și va rămîne la o anumită valoare și anume la aceea pentru care debitul de ieșire prin robinetul B este egal cu debitul de intrare prin robinetul A . O asemenea *situație*, în care mărimea reglată se menține la o valoare constantă, se numește **regim staționar al procesului**. Orice perturbație a acestui echilibru provocată de o modificare fie a acțiunii robinetelor A sau B , fie a presiunii apei care modifică debitul de intrare prin robinetul A , va avea ca efect o variație a nivelului h , ajungîndu-se în cele din urmă la o nouă stare de echilibru, adică la un nou regim staționar, dar la o altă înălțime h a apei în rezervor decît înălțimea din regimul staționar precedent. *Perioada de trecere de la un regim staționar la un alt regim staționar în desfășurarea unui proces constituie un regim tranzitoriu al procesului* sau, în cazul unei reglări automate a parametrului respectiv, un **regim tranzitoriu al reglării automate**.

Rezultatele care se pot obține cu un sistem de reglare sînt condiționate de două caracteristici ale procesului, care trebuie examinate și avute în vedere la conceperea sistemului de reglare. Acestea sînt:

— *constantele de timp și timpul mort al procesului;*

— *perturbațiile care apar în desfășurarea procesului.*

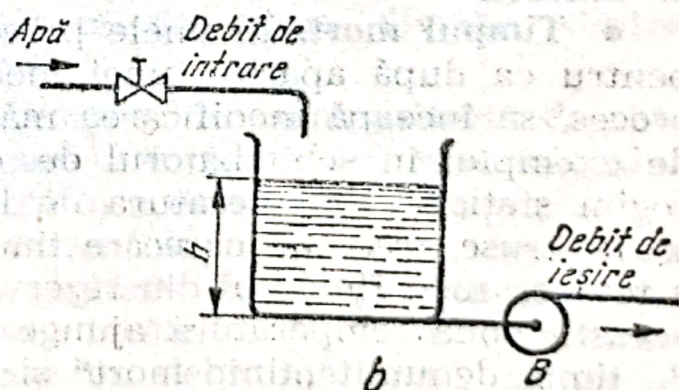


Fig. 11.1

1. CONSTANTELE DE TIMP ȘI TIMPUL MORT AL PROCESULUI

Dacă în valoarea unei mărimi care caracterizează desfășurarea unui proces are loc o modificare, trece un oarecare timp pînă cînd mărimea de ieșire a procesului (mărimea reglată) ajunge la o nouă valoare. Această proprietate este cunoscută sub denumirea de *întîrziere a procesului* și este caracterizată prin constanta de timp a procesului, care se notează cu litera T (eventual cu indici, dacă sînt mai multe), și prin timpul mort al procesului, care se notează cu T_m . Întîrzierile sînt determinate de *capacitatea* C , care este proprietatea procesului de a acumula energie sau cantitate de materie și respectiv de *rezistența* R , care reprezintă proprietatea procesului de a se opune transferului de energie sau materie.

- **Constantele de timp.** Efectul combinat al unei capacități și al unei rezistențe produce întîrzieri, determinînd valoarea constantei de timp T .

După cum rezultă din studiul analitic al proceselor, procesul din figura 11.1 este caracterizat printr-o singură constantă de timp, iar procesul din figura 10.1 poate fi caracterizat, cu unele aproximații acceptabile în practică, prin două constante de timp. Un motor electric este caracterizat de două constante de timp: una corespunzătoare fenomenelor electromagnetice din înfășurări, alta corespunzătoare fenomenelor electromagnetice care apar la modificarea vitezei de rotație.

În funcție de valorile constantelor de timp, procesele se împart în *procese rapide* și *procese lente*. În prima grupă intră procesele caracterizate de constante de timp de ordinul secunde sau mai mici, ele fiind întîlnite, de exemplu, la reglările de tensiune în energetică, la reglările de viteză din cadrul acționărilor electrice etc. Procesele lente se întîlnesc la reglările de debit, nivel, presiune, concentrație, temperatură etc., ele fiind caracterizate de constante de timp de cîteva zeci de secunde, minute sau chiar zeci de minute.

- **Timpul mort.** În unele procese este necesar un anumit timp pentru ca după apariția unei modificări a mărimii de intrare în proces, să înceapă modificarea mărimii de ieșire din proces. Dacă, de exemplu, în schimbătorul de căldură din figura 10.1 aflat în regim staționar, temperatura de la intrare a fluidului încălzit A scade brusc, trece un oarecare timp pînă cînd se produce o scădere a temperaturii fluidului din rezervor și apoi pînă cînd fluidul avînd această nouă temperatură ajunge la termometru. În acest interval de timp, denumit „timp mort” și notat cu T_m , termometrul nu indică nici o schimbare (fig. 11.2).

○ **Observație.** Această întârziere trebuie deosebită de aceea caracterizată mai înainte prin constante de timp T . Un grup RC , care determină constanta de timp T a procesului, începe să transmită imediat o schimbare, numai că la valoarea finală a schimbării se ajunge după un timp oarecare caracterizat prin constanta de timp T . Dacă procesul are un timp mort T_m , schimbarea mărimii de ieșire începe să se manifeste abia după trecerea acestui timp T_m .

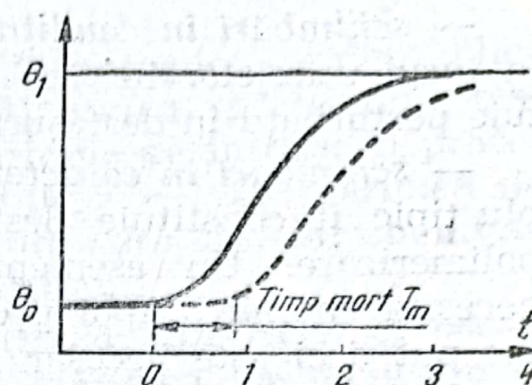


Fig. 11.2

Mărimea lui T_m depinde de viteza cu care propagă schimbarea și de distanța și de locul în care se găsește elementul care o sesizează. Ca urmare, trebuie acordată o atenție deosebită amplasării cât mai judicioase a elementului de măsurare, pentru a se evita crearea unui timp mort, care are efecte dezavantajoase în procesul de reglare.

În figura 11.2 se indică modelul de variație a mărimii de ieșire într-un proces caracterizat de o constantă de timp și un timp mort (așa cum se aproximează de multe ori unele procese de încălzire), atunci când la timpul zero apare o variație bruscă a mărimii care influențează procesul. Pe figură θ_0 reprezintă temperatura inițială, iar θ_1 — temperatura finală, corespunzând, de exemplu, unei deschideri suplimentare bruște, la timpul zero, a robinetului de pe conducta fluidului de încălzire a schimbătorului de căldură din figura 10.1.

2. PERTURBAȚIILE CARE APAR ÎN DESFĂȘURAREA PROCESELOR

• Perturbațiile pot fi determinate de cauze diverse, dintre care se indică cele mai importante:

— *schimbări de sarcină.* De exemplu, în schimbătorul de căldură din figura 10.1 — o modificare a temperaturii sau debitului de lichid A care trebuie încălzit intră în această categorie;

— *schimbări în caracteristicile agentului cu care se realizează reglarea.* Dacă, de exemplu, în reglarea de temperatură din figura 10.1 se întrebuintează ca agent încălzitor B aburul și temperatura acestuia scade, va fi necesar un debit mai mare pentru a se obține temperatura prescrisă;

— schimbări în condițiile ambiante. Fluctuațiile de temperatură în jurul utilajelor în care are loc o reglare de temperatură constituie perturbații în desfășurarea reglării respective;

— schimbări în caracteristicile interne ale procesului. Un exemplu tipic îl constituie desfășurarea procesului într-un reactor de polimerizare. Un asemenea proces este la început endotermic și necesită energie. Apoi procesul trece la o reacție exotermică. La început deci este necesar un debit de abur pentru a încălzi reactorul și mai târziu este necesară apă de răcire pentru a menține temperatura la valoarea prescrisă.

○ Se menționează că nu s-au avut în vedere perturbațiile care pot apărea în alimentarea sau funcționarea elementelor dispozitivului de automatizare. Este necesar, bineînțeles, ca la conceperea unui sistem de reglare să se aleagă aceste elemente cu o fiabilitate și precizie corespunzătoare cerințelor procesului reglat, astfel încât asemenea perturbații să nu trebuiască să fie luate în considerație.

○ Notă. În afară de perturbațiile menționate, care în general apar ca acțiuni externe asupra procesului și a sistemului de reglare, modificarea mărimii de ieșire a procesului se poate produce și prin variația mărimii de execuție, de exemplu ca urmare a schimbării mărimii de referință.

• Perturbațiile pot avea caracteristici foarte diferite și care nu pot fi prevăzute.

De obicei se presupune o variație treaptă a perturbației. În general, un semnal treaptă se consideră nul pentru $t < 0$ și constant (diferit de zero) pentru $t > 0$, la momentul $t = 0$ avînd loc un salt brusc (fig. 11.3). De exemplu, conectarea bruscă a unui circuit electric la o sursă presupune o variație treaptă a tensiunii la bornele circuitului; modificarea bruscă a deschiderii unui robinet conduce la variația treaptă a debitului de fluid.

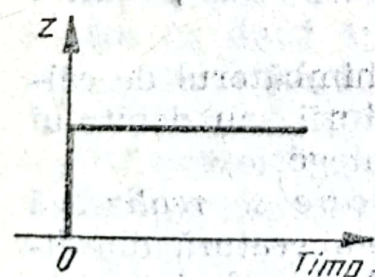


Fig. 11.3

Deși perturbațiile au de obicei o variație mai lentă, se preferă să se considere că ele au o variație treaptă, pentru că acestea se pot realiza mai ușor în încercările experimentale.

Dacă un sistem de reglare dă satisfacție pentru o asemenea perturbație, el va funcționa satisfăcător și pentru perturbații uzual întâlnite.

3. ECUAȚIILE PROCESELOR

Aceste ecuații se obțin exprimând pe baza legilor care se aplică fenomenelor care au loc în proces, desfășurarea procesului respectiv. În felul acesta se obțin, între mărimile de intrare în proces — mărimea de execuție m și perturbațiile z — și mărimea de ieșire a procesului (mărimea reglată) relații care sînt întrebuintate apoi în stabilirea sistemului de reglare solicitat.

Pentru a se putea compara desfășurarea diferitelor procese, adică pentru a se analiza cum variază mărimea lor de ieșire e , practica a consacrat următoarea metodă: se aplică pentru procesele studiate la aceeași mărime de intrare $m(t)$ și compararea proceselor se face prin examinarea mărimilor de ieșire $e(t)$ respective. De obicei studierea procesului se face aplicînd o mărime de intrare treaptă, adică $m(t)=m_0$ pentru $t \geq 0$.

○ **Noțiă.** Cînd se menționează „răspunsul procesului“ sau „răspunsul sistemului automat“, acesta ar putea să reprezinte în principiu mărimea de ieșire pentru orice tip de mărime de intrare, dar de obicei aceste denumiri se referă la o modificare treaptă a mărimei de intrare.

Modificările în treaptă la intrare se întrebuintează pentru că se obțin relativ ușor, iar pe de altă parte, modificarea în treaptă constituie forma cea mai violentă a modificării unei mărimi și răspunsul la o asemenea mărime de intrare reprezintă abaterea maximă a mărimei de ieșire, care poate apărea pentru o anumită eventuală modificare a mărimei de intrare sau a unei perturbații. Astfel de variații se produc, în mod curent, în cazul reglărilor automate din procesele industriale studiate.

• Desfășurarea **proceselor lente simple** este descrisă de cele mai multe ori de o ecuație diferențială liniară, în care se pun în evidență constanta de timp T și timpul mort T_m :

$$(a) \quad T \frac{de(t)}{dt} + e(t) = K_p m(t - T_m),$$

în care K_p se numește *factor de amplificare*. Dacă mărimea de intrare are o variație treaptă de valoare m_0 și sistemul pleacă din repaus la momentul inițial ($t=0$), atunci (pentru $T_m=0$) se obține

$$(b) \quad e(t) = K_p m_0 (1 - e^{-t/T})$$

(în relația (b) să nu se confunde mărimea de ieșire $e(t)$ cu numărul $e=2,718 \dots$ care apare în membrul al doilea).

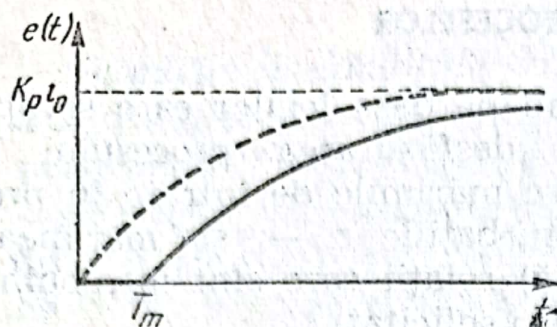


Fig. 11.4

Exercițiu. Să se verifice că expresia (b) este o soluție a ecuației diferențiale (a) pentru $T_m=0$.

Răspunsul corespunzător ecuației (b) este indicat punctat în figura 11.4. Dacă $T_m \neq 0$, curba apare deplasată față de cazul precedent (cu linie plină în fig. 11.4).

• Pentru procesele rapide de reglare a turației motoarelor electrice, ecuațiile de funcționare ale procesului (motorul electric) s-au prezentat în capitolele 1—9 (partea întâi — „Acționări“).

a. Determinări experimentale

În practică, în mod uzual, se determină caracteristicile procesului prin încercări experimentale și acestea servesc la:

- proiectarea sistemelor de reglare respective;
- stabilirea valorii optime a parametrilor variabili ai reglatoarelor.

Metoda cea mai frecvent întrebuințată este *stabilirea răspunsului procesului, aplicîndu-se la intrare o mărime (perturbație) treaptă*. Se recomandă ca variația treaptă Δm să fie 5—15% din valoarea maximă posibilă a mărimii de intrare.

Schema instalației pentru determinarea experimentală a răspunsului este arătată în figura 11.5. În această instalație, mărimea de intrare treaptă este realizată cu dispozitivul 1. Dispozitivele 2 și 3 sînt traductoare de mărimi de intrare m și de ieșiri e , pentru a le putea înregistra pe înregistratorul 5. Instalația poate cuprinde și convertoare 4, pentru a se obține semnale corespunzătoare înregistratorului 5.

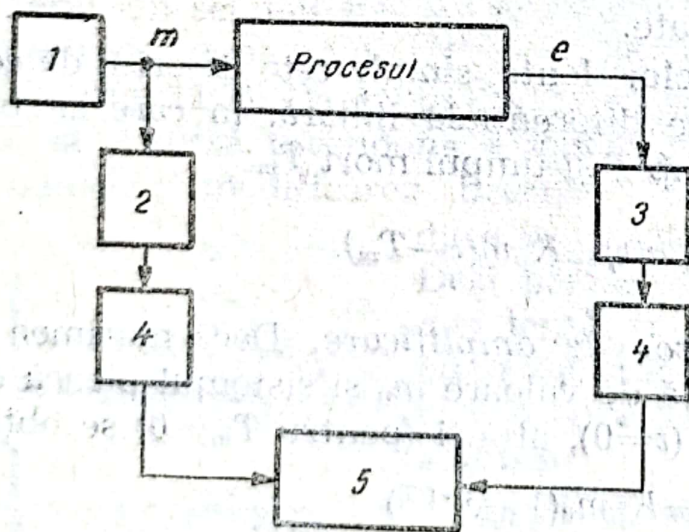


Fig. 11.5

○ **Trebuie observat** că în asemenea experimentări realizate cu sisteme în funcțiune, prin denumirea „proces” se înțelege de fapt ansamblul: element de execuție, procesul propriu-zis și elementul de măsurare, eventual adaptoarele. În felul acesta, de fapt, se ridică experimental caracteristicile părții din sistem „văzute” de regulator în cazul funcționării cu sistemul în circuit închis, adică variația mărimii de reacție r funcție de mărimea de comandă c . Experiența se consideră terminată când s-a ajuns la un nou regim staționar al mărimii de ieșire.

În figura 11.6 este prezentat o înregistrare de acest fel, din care se pot deduce factorul de amplificare al procesului $K = \frac{\Delta e}{\Delta m}$ și timpul mort T_m și se pot obține unele indicații asupra constantelor de timp ale procesului considerat.

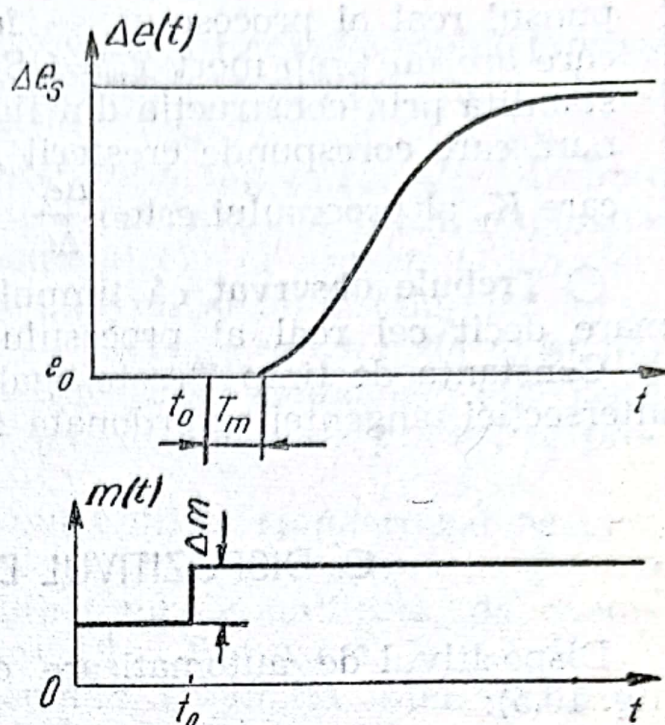


Fig. 11.6

b. Aproximarea răspunsului real la variație treaptă a mărimii de intrare printr-un răspuns fictiv, caracterizat printr-o constantă de timp

Modificarea Δi a mărimii de intrare este realizată la timpul zero.

Metoda este indicată în figura 11.7. În punctul I în care curba de răspuns a procesului ridicată experimental are o inflexiune, adică $\frac{de}{dt}$ este maxim, se duce tangenta la curbă. Această tangentă determină pe dreapta de ordonată $e = e_0$ (e_0 fiind valoarea staționară de la care s-a început experimentarea) un segment OB . Răs-

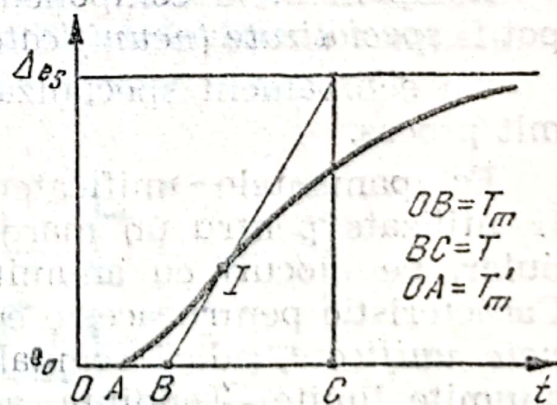


Fig. 11.7

punsul real al procesului se înlocuiește cu un răspuns fictiv, care are un timp mort $T_m = OB$ și o singură constantă de timp T stabilită prin construcția din figură; Δe_s este noua valoare staționară care corespunde creșterii Δi și deci coeficientul de amplificare K_p al procesului este $\frac{\Delta e_s}{\Delta i}$.

○ Trebuie observat că timpul mort T_m astfel stabilit este mai mare decât cel real al procesului și care în figura 11.7 este T_m . Constanta de timp T este egală cu BC , punctul C fiind abscisa intersecției tangentei cu ordonata Δe_s .

C. DISPOZITIVUL DE AUTOMATIZARE

Dispozitivul de automatizare cuprinde următoarele componente (fig. 10.5):

— *elementul de măsurare* M , format eventual din două părți: traductorul și adaptorul (T și A);

— *regulatorul* R , care cuprinde de obicei și elementul de comparație D , în care caz uzual, în practică, regulatorul primește mărimea i și mărimea r ;

— *elementul de execuție* E ;

— eventual, *convertorul de semnal*: electro-hidraulic, electronic-pneumatic sau pneumatic-electronic.

În afară de aceste elemente, mai există și un *dispozitiv de prescriere* (DP), cu care se fixează mărimile i , deci care prescrie valoarea dorită pentru mărimea reglată.

1. SISTEME DE ELEMENTE ȘI BLOCURI UNIFICATE

Echipamentele componente ale unui dispozitiv de automatizare pot fi *specializate (neunificate)* sau *unificate*.

Un echipament specializat este destinat automatizării unui anumit proces.

Echipamentele unificate sînt concepute astfel încît să poată fi utilizate pentru un mare număr de procese. Sînt realizate modular, pe blocuri cu anumite funcțiuni, cu o construcție tipizată. Caracteristic pentru aceste echipamente este faptul că folosesc *semnale unificate*, adică semnale de aceeași natură și variind între anumite limite. Tendința actuală în proiectare și exploatare este de a se utiliza echipamente unificate.

Se realizează echipamente unificate pentru procese rapide (aproape în exclusivitate echipamente electronice) și pentru procese lente (electronice sau pneumatice).

În alegerea echipamentelor electronice sau pneumatice trebuie ținut cont de condițiile de mediu (de exemplu, în medii explozive sînt preferate echipamentele pneumatice), de aspecte economice, care vizează atît costul echipamentelor cît și al instalațiilor auxiliare (conducte de legătură, surse de alimentare ș.a.), de existența unui anumit echipament în același ansamblu tehnologic etc. Dacă se prevede o cuplare ulterioară cu un calculator de proces, se preferă echipamentele electronice.

La sistemele pneumatice, semnalul unificat standardizat pe plan mondial este 0,2...1 bar. În cazul sistemelor electronice pentru procese lente se folosesc mai multe semnale unificate, de exemplu: 2...10 mA c.c., 4...20 mA c.c., 0...5 mA c.c., 0...5 V c.c. etc. Se observă că se utilizează semnale cu limita inferioară zero (mai comode în lucru, mai ales în cazul cuplării cu un calculator) sau cu limita inferioară diferită de zero; acestea din urmă permit o adaptare mai ușoară între echipamentele electronice și pneumatice, întrucât există același raport de 5/1 între valorile maxime și minime ale semnalului.

La noi în țară se realizează sisteme unificate de automatizare pneumatice la IEPAM — Bîrlad și electronice la IEA — București (pentru procese lente se realizează echipamentul „ε”, cu semnal unificat, 2...10 mA, și echipamentul SEROM, cu semnale unificate multiple).

Structura de bază a unui sistem unificat, cu referire la un sistem electronic pentru procese lente, este dată în figura 11.8.

În figură s-a indicat structura unui întreg sistem de reglare, blocurile care nu fac parte din echipamentul unificat (procesul P și elementul de execuție E) reprezentându-se punctat. Elementul de măsurare M este format din traductorul T , care sesizează valoarea mărimii reglate e , și adaptorul A , care transformă semnalul de ieșire din traductor în semnal unificat. Blocul regulator este

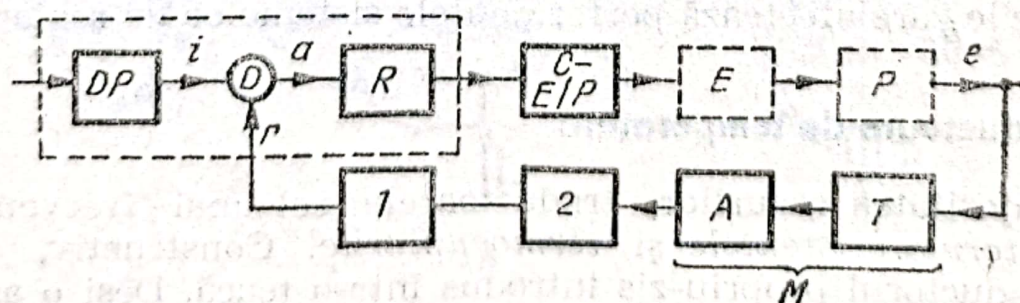


Fig. 11.8

format din regulatorul propriu-zis R , elementul de comparație D și conține de multe ori dispozitivul de prescriere DP ; în unele cazuri, DP se află constructiv în afara blocului regulator. Întrucât de multe ori elementul de execuție E este pneumatic, iar regulatorul R — electronic, între ele se interpune un convertor electro-pneumatic $C-E/P$, care transformă semnalul unificat electric în semnal unificat pneumatic. În general, prezența convertorului este necesară atunci când semnalul de ieșire din regulator nu este compatibil ca natură, domeniul de variație sau de putere cu semnalul de comandă al elementului de ecuație.

Blocurile notate pe figură cu 1 și 2 reprezintă elemente care nu apar în toate sistemele de reglare, uneori prezența lor fiind facultativă. Dintre acestea menționăm: aparate indicatoare, înregistratoare, dispozitive de semnalizare și alarmare, elemente de calcul (adunare/scădere, înmulțire/împărțire, extractor de radical) etc.

În cele ce urmează, se vor examina succint caracteristicile principalelor elemente componente ale dispozitivului de automatizare, din punctul de vedere al rolului lor într-un sistem de reglare.

2. TRADUCTOARE

Un **traductor** transformă a mărime aplicată la intrarea sa într-o mărime de altă natură fizică, cu scopul de a măsura mărimea de la intrare. Într-un sistem de reglare, mărimea reglată din proces constituie mărimea de intrare în traductor; mărimea de ieșire din traductor — trecută eventual prin adaptor — se aplică elementului de comparație și constituie mărimea de reacție a sistemului de reglare automată. Alegerea traductorului trebuie făcută cu deosebită grijă, deoarece precizia reglării automate depinde în primul rând de calitatea traductorului și a elementului de comparație. De altfel, valoarea mărimii reglate e nu este indicată direct, ci prin intermediul mărimii de reacție r .

În cele ce urmează, se dau unele indicații sumare privind traductoarele pentru măsurarea unor mărimi, punctând în special caracteristicile care afectează performanțele sistemelor de reglare.

a. Traductoare de temperatură

În majoritatea cazurilor, traductoarele cel mai frecvent folosite sînt *termorezistențele* și *termocuplurile*. Constructiv, acestea conțin traductorul propriu-zis introdus într-o teacă. Deși o astfel de teacă introduce întârzieri suplimentare în transmiterea semnalului

(care sînt totuși sensibil mai mici decît întîrzierile procesului), prezența ei este necesară, pentru a se asigura o protecție mecanică și la coroziune.

b. Traductoare de presiune

Se construiesc diverse tipuri, dintre care mai des întîlnite sînt cele cu burduf, cu membrană, cu tub Bourdon (fig. 11.9). Ele sînt caracterizate de o constantă de timp relativ redusă și o precizie de obicei de 1%. Mărimea de ieșire la aceste traductoare este o deplasare. La traductoarele din cadrul sistemelor de reglare, această deplasare este convertită într-un semnal electric sau pneumatic, care este mai ușor prelucrat de celelalte elemente din sistem.

- **Traductorul cu burduf** (fig. 11.9, a) este de fapt un cilindru (confectionat din bronz, alamă sau oțel inoxidabil) cu pereții onduilați și care se poate comprima sau întinde (ca un resort) sub acțiunea aerului comprimat, deplasarea x fiind proporțională cu presiunea.

- **Traductoarele cu membrană** (fig. 11.9, b) conțin ca element principal o membrană (metalică sau nemetalică), de obicei ondulată, cu scopul de a i se micșora rigiditatea. Dacă în camera inferioară se aplică o altă presiune, deplasarea x depinde de diferența celor două presiuni (traductorul este de presiune diferențială).

- **Traductoarele cu tub Bourdon** (fig. 11.9, c) conțin un tub cu pereți subțiri, îndoit de obicei sub formă de arc. Presiunea p se introduce prin duza d , iar capătul liber (ermetic închis) se dezrăsucește cu un unghi proporțional cu presiunea.

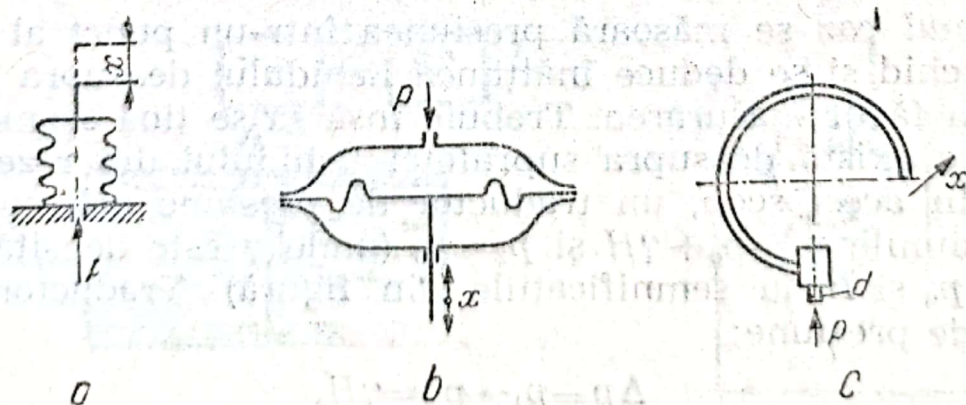


Fig. 11.9.

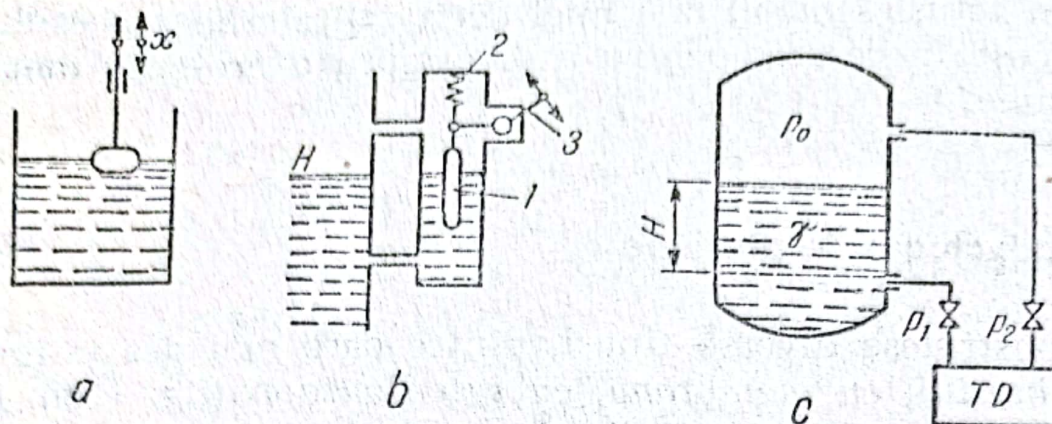


Fig. 11.10

c. Traductoare pentru nivel

Măsurarea nivelului se face prin *metode directe*, când traductorul este influențat direct de poziția suprafeței lichidului, fie prin *metode indirecte*, când se măsoară o caracteristică a procesului din care se deduce nivelul lichidului.

- Metodele directe utilizează plutitori (fig. 11.10, a), imersoare (fig. 11.10, b) etc.

Plutitorul este realizat de obicei dintr-o cutie metalică, care plutește la suprafața lichidului; poziția tijei legate de plutitor indică nivelul lichidului.

Spre deosebire de plutitor, imersorul 1 este susținut de un resort (2), iar mișcările sînt transmise axului (3). Variațiile de nivel se traduc într-o variație aparentă a greutății imersorului. De exemplu, la scăderea nivelului H , imersorul coboară, resortul este întins, crescînd forța antagonistă și ca urmare imersorul iese mai mult afară din lichid.

- Dintre metodele indirecte, unele dintre cele mai folosite se bazează pe măsurarea presiunii hidrostatice sau a capacității electrice.

În primul caz se măsoară presiunea într-un punct al recipientului cu lichid și se deduce înălțimea lichidului deasupra punctului în care s-a făcut măsurarea. Trebuie însă să se țină seamă de presiunea care există deasupra suprafeței lichidului din rezervor (fig. 11.10, c). În acest scop, un traductor de presiune diferențială măsoară presiunile $p_1 = p_0 + \gamma H$ și $p_2 = p_0$ (unde γ este densitatea lichidului, iar p_0 și H au semnificațiile din figură). Traductorul indică diferența de presiune:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \gamma H,$$

proporțională deci cu înălțimea H a lichidului.

Metoda capacității se bazează pe măsurarea capacității între un electrod cufundat în lichid și pereții rezervorului sau un alt electrod. Această capacitate depinde de nivelul lichidului între electrozi.

Precizia diferitelor metode este cuprinsă practic între 0,5 și 1%. Constantele de timp ale acestor traductoare sînt mici, sub aproximativ 1 s.

d. Traductoare pentru debit

Constantele de timp ale proceselor pentru reglările de debite sînt foarte mici. Din această cauză este deosebit de importantă constanta de timp a traductoarelor pentru debite. Se vor prezenta două dintre construcțiile mai frecvent utilizate.

• **Traductoare pentru debit bazate pe măsurarea unei presiuni diferențiale.** Aceasta este metoda cea mai frecvent aplicată și se bazează pe introducerea în curentul fluidului a unei strangulări care creează o diferență de presiune Δp întrebuințată pentru măsurarea debitului respectiv. Dispozitivul cel mai întrebuințat în acest scop este diafragma (fig. 11.11, a).

Diferența de presiune $\Delta p = Kv^2$ (unde K este o constantă, iar v — viteza fluidului) este sesizată de traductorul diferențial de presiune TD . Cum viteza este legată de debit ($Q = vS$, unde S este secțiunea diafragmei), rezultă $\Delta p = \frac{K}{S^2} Q^2 = CQ^2$ (unde $C = \frac{K}{S^2}$ este o constantă care depinde de construcția diafragmei), deci diferența de presiune depinde de debitul Q . Dacă se dorește obținerea unei dependențe liniare în funcție de Q , semnalul Δp este prelucrat de un bloc de calcul extractor de radical.

Debitmetrele au constante de timp între 2 și 20 s. În realizările mai noi, care au un măsurător de presiune diferențială bazat pe principiul balanței de forțe, se obțin constante de timp 0,3—1 s.

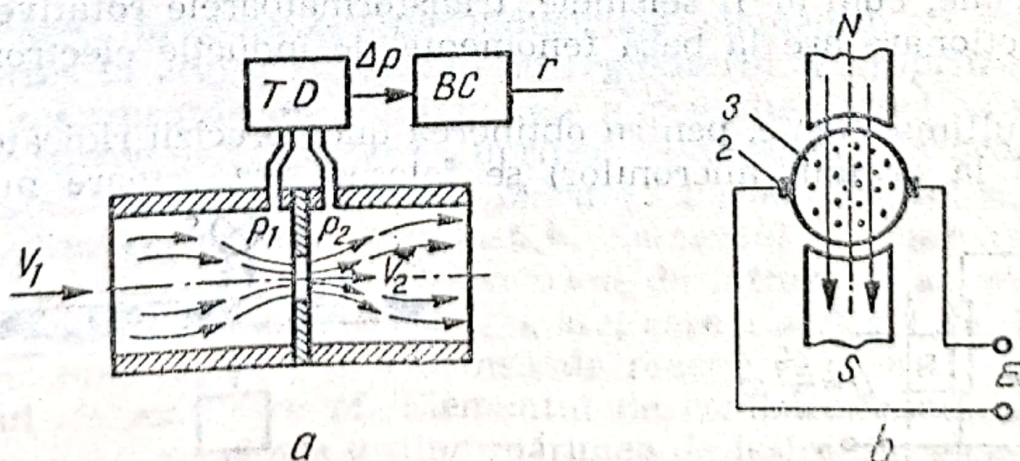


Fig. 11.11

• **Traductor pentru debit bazat pe principii electromagnetice** (fig. 11.11, b). Funcționarea acestui traductor se bazează pe faptul că într-un conductor care se mișcă într-un câmp magnetic apare o tensiune electrică. În acest scop, în jurul debitului de lichid se creează un câmp magnetic perpendicular pe direcția de curgere. Între doi electrozi (2) îngropați în pereții tubului (3) apare o tensiune electrică E proporțională cu viteza lichidului și deci cu debitul (în figură se consideră că fluidul curge în direcție perpendiculară pe planul desenului). Metoda prezentată se aplică pentru măsurarea debitului în cazuri dificile: acizi corosivi, lichide cu viscozitate mare, lichide având suspensii. Lichidul trebuie însă să aibă o conductibilitate minimă, de exemplu $100 \mu S$ pentru unele realizări constructive.

Acest traductor are următoarele *avantaje*: precizie mare (aproximativ 1% din scală), calibrare stabilă, gamă deosebit de largă; el putând măsura cu precizie debite mici, constantă de timp mică (sub 0,5 s).

e. Traductoare de deplasare

Pentru măsurarea deplasărilor în sistemele de poziționare sau a deplasărilor date de alte traductoare (de exemplu, cele de presiune), se folosesc traductoare de deplasare. Vom prezenta pe scurt câteva traductoare care elaborează la ieșire un semnal electric. Multe dintre acestea își bazează funcționarea pe *modificarea unui parametru dintr-un circuit electric* (rezistență, inductanță sau capacitate).

• În figura 11.12 este reprezentat principial un **traductor rezistiv**. Acesta este un potențiometrul la care — pentru a asigura o precizie ridicată — spirele conductorului trebuie să aibă diametru destul de mic și să fie dispuse cât mai uniform.

Pentru deplasări unghiulare se mai folosesc o serie de traductoare speciale, cum ar fi selsinele, transformatoarele rotative ș.a., a căror funcționare are la bază fenomenul de inducție electromagnetică.

• În ultima vreme, pentru obținerea unor precizii ridicate (mergând pînă la ordinul micronilor) se folosesc **traductoare numerice**

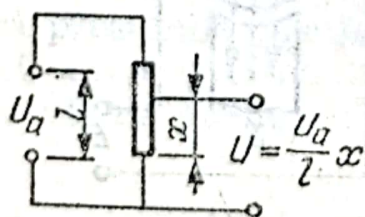


Fig. 11.12

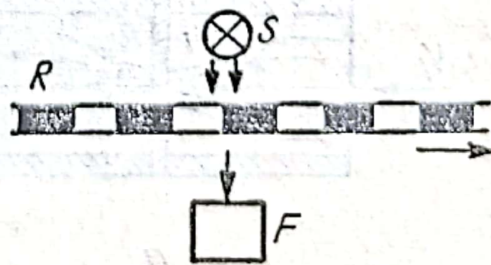


Fig. 11.13

de deplasare. În figura 11.13 este schițat principiul de realizare pentru o variantă constructivă a unui *traductor numeric pentru deplasări liniare*. Între sursa de lumină S și elementul fotosensibil F se deplasează rigla R , pe care sînt practicate uniform interstiții transparente și porțiuni opace. Elementul fotosensibil (fotodiodă, fototranzistor) face parte dintr-un circuit electronic în care apar impulsuri ori de cîte ori F este impresionat de lumina provenită de la S . Aceste impulsuri sînt numărate de un numărător electronic, care indică astfel numărul de interstiții care trec prin dreptul lui F și, prin aceasta, deplasarea riglei R față de o poziție de referință.

f. Traductoare de turație

Cel mai frecvent, pentru măsurarea vitezei de rotație, se folosesc *tahogeneratoare*. Principal, un tahogenerator este un generator electric (de c.c. sau c.a.). După cum se știe, tensiunea dată de un generator este proporțională cu turația cu care este rotit rotorul său: plasînd rotorul tahogeneratorului pe axul a cărui turație se măsoară, se poate obține o tensiune proporțională cu viteza de rotație. Pentru creșterea preciziei și eliminarea unor semnale parazite, la tahogeneratoare se iau unele măsuri constructive speciale față de generatoarele obișnuite.

Se realizează și *tahogeneratoare numerice*. Ca principiu, ele pot fi realizate asemănător cu traductorul descris în figura 11.13, dar numărătoarea impulsurilor se face într-un timp strict determinat.

3. REGULATOARE

a. Aspecte generale

De obicei, în construcțiile industriale elementul de comparație este cuprins în același ansamblu cu regulatorul R propriu-zis. În ce privește mărimea de intrare i , în cele mai multe cazuri ea se obține prin dispozitive de prescriere, cuprinse de asemenea în aceeași unitate constructivă cu regulatorul. Mărimea i poate fi însă stabilită și în dispozitive separate și introdusă în elementul de comparație. Elementul de comparație are două mărimi de intrare și anume: mărimea de intrare i în sistemul de reglare, care stabilește valoarea dorită a mărimii reglate, și mărimea de reacție r , care sosește de la elementul de măsurare M . Elementul de comparație realizează diferența $i - r = a$, mărimea a fiind mărimea de ieșire din elementul de comparație, denumită mărime de acționare.

○ De observat că mărimile i și r trebuie să aibă aceeași natură fizică și să fie exprimate în aceleași unități de măsură.

Regulatorul primește la intrare mărimea de acționare a și produce la ieșire mărimea de comandă c . Relația care există între c și a determină caracteristica regulatorului, denumită uneori *legea de reglare a regulatorului*, utilizată în sistemul considerat. Practica a consacrat anumite legi de reglare, care pot fi independente de felul în care se realizează constructiv (pneumatic sau electronic) respectivele relații.

b. Clasificarea generală a reguletoarelor

● După caracterul legii de reglare există:

— *reguletoare continue liniare*, denumite și *PID*; semnificația acestor litere este următoarea: P =proporțional, I =integral, D =derivativ sau diferențial. În aceste reguletoare mărimea de ieșire cuprinde o primă parte proporțională cu mărimea de intrare a , a doua — proporțională cu integrala mărimii de intrare și o a treia parte, proporțională cu derivata mărimii de intrare a . Unele dintre aceste componente ale mărimii de ieșire c din reguletor, de obicei a doua și a treia sau numai una dintre ele, pot lipsi în unele reguletoare din această categorie. Acest tip de reguletoare este des întâlnit, în special la sistemele unificate;

— *reguletoare discontinue*, în care mărimea de ieșire c poate lua un număr limitat de valori în funcție de a , de obicei două sau trei valori (la reguletoarele bipoziționale, respectiv tripoziționale). În alte realizări constructive mai complexe, mărimea c este o funcție mai complicată de a , în general similară cu aceea din reguletoarele continue liniare, dar care nu este transmisă mai departe în sistemul de reglare în mod continuu, ci numai la anumite intervale de timp, avînd o perioadă ΔT . Asemenea reguletoare sînt denumite *reguletoare discrete* sau *cu semnale eșantionate*. O asemenea funcționare poate fi preluată de un calculator, în care caz reglarea este cunoscută sub inițiale *DDC*, prescurtarea denumirii: Direct Digital Control (reglare numerică directă) și se aplică unui ansamblu cuprinzînd mai multe sisteme de reglare. Asemenea automatizări se estimează că vor avea o mare dezvoltare în viitor.

● După originea sursei de energie cu care funcționează, se disting:

— *reguletoare care funcționează cu energie preluată din proces prin elementul de măsurare*. Asemenea reguletoare se numesc *reguletoare directe* și se întrebuintează în general în sistemele de reglare

la care nu este necesară o precizie deosebită. Uneori, în același ansamblu constructiv sînt cuprinse regulatorul R , elementul de măsurare M și elementul de execuție E . Regulatele directe se întîlnesc în reglările de temperatură, presiune, nivel și debit;

— *regulate care funcționează cu energie asigurată de o sursă de energie auxiliară*. Cu regulate de acest fel se pot realiza sisteme de reglare cu performanțele cele mai bune. Energia poate fi de natură pneumatică, electrică sau hidraulică, după care rezultă și denumirea regulatorului: pneumatic, electronic sau hidraulic.

• După mărimea constantelor de timp ale proceselor, sînt:

— *regulate pentru procese rapide*, adică cu constante de timp mai mici, de ordinul secundelor sau mai mici, cum este cazul în acționări electrice reglabile;

— *regulate pentru procese lente*, avînd constante de timp mai mari, de ordinul secundelor pînă la ordinul zecilor de minute.

c. Caracteristicile regulatelor continue de tip

Practica a consacrat utilizarea tipurilor de regulate liniare PID avînd caracteristicile descrise în cele ce urmează.

• **Regulator proporțional (simbol P).** Cu acest regulator se realizează următoarea relație între c și a :

$$c = K_R a, \quad (11.1)$$

în care K_R este un factor de proporționalitate denumit *factor de amplificare al regulatorului*. În această relație, c și a reprezintă variații față de valorile de referință respective. De exemplu, într-un sistem unificat cu semnal $2 \dots 10$ mA, c și a vor reprezenta variațiile față de valoarea de referință de 2 mA. Valoarea lui K_R se poate modifica manual, pentru a se putea obține performanțele impuse sistemului de reglare cuprinzînd regulatorul P . Această operație constituie acordarea regulatelor și va fi descrisă în capitolul 12.

Legea de reglare P este cea mai simplă lege de reglare continuă. În acest caz regulatorul se reduce de fapt la un amplificator. De altfel, toate regulatele continue conțin în structura lor un amplificator, dar pentru realizarea diferitelor legi de reglare, pe lîngă amplificator mai sînt necesare circuite suplimentare.

○ **Notă.** Deseori se întrebuintează în loc de K_R mărimea denumită *bandă de proporționalitate (BP)*, definită în sistemele unificate prin relația:

$$BP[\%] = \frac{1}{K_R} \cdot 100. \quad (11.2)$$

Din această relație rezultă că dacă banda de proporționalitate BP se poate modifica între 2 și 200%, coeficientul de amplificare K_R va varia între 50 și 0,5.

• **Regulator proporțional integral (simbol PI).** Un asemenea regulator realizează uzual următoarea relație între c și a :

$$c = K_R \left(a + \frac{1}{T_i} \int a dt \right). \quad (11.3)$$

Mărimea de comandă c este în acest caz suma a doi termeni: primul termen este $K_R a$, adică proporțional cu a (partea P a regulatorului) și al doilea termen, $\frac{K_R}{T_i} \int a dt$, este proporțional cu integrala mărimii a (partea I a regulatorului). În această relație T_i este un timp și este denumit *constantă de timp de integrare a regulatorului PI* . Într-un asemenea regulator valorile lui K_R și T_i sînt stabilite manual (acordarea regulatorului).

Atît timp cît $a = i - r \neq 0$ și chiar pentru $a = i - r = 0$ continuă să existe o mărime de comandă constantă, c , datorită cumulărilor anterioare ale componentei I .

○ **De remarcat** că mărimea c variază în timp atîta vreme cît $a \neq 0$. Datorită acestui fapt, sistemul automat funcționează principal fără eroare staționară. În adevăr, regimul staționar este atins atunci cînd încetează variația tuturor mărimilor din sistem; or, datorită componentei I , variația lui c încetează numai cînd $a = 0$, deci regimul staționar poate fi atins numai cînd eroarea $a = i - r$ este nulă.

Dacă regulatorul conține doar componenta P , eroarea staționară nu poate fi anulată. De fapt, și pentru un regulator PI eroarea staționară ar fi nulă doar dacă sistemul ar conține elemente ideale, fără eroare. În realitate, datorită erorilor elementelor componente și mai ales ale traductorului, condiția $i = r$ se realizează pentru o valoare eronată a lui r și deci regimul staționar se atinge cu o anumită eroare.

Totuși, dacă componenta I lipsește, eroarea staționară nu se anulează nici măcar într-un caz ideal. În acest caz, peste erorile elementelor componente se suprapune eroarea care derivă din însuși principiul de funcționare a sistemului de reglare și care, în general, este preponderentă.

• **Regulator proporțional, integral, diferențial (simbol PID).** Relația între mărimea de comandă c și mărimea de acționare a este:

$$c = K_1 \left(a + \frac{1}{T_i} \int a dt + T_d \frac{da}{dt} \right). \quad (11.4)$$

În această expresie T_d are dimensiunea unui timp și este denumit *timpul diferențial al regulatorului PID*. Prezența efectului D are ca efect o creștere a stabilității sistemului și deci permite fixarea unui K_R mai mare și a unui T_i mai mic decât în cazul unui regulator PI . Datorită efectului D se reduce abaterea maximă în timpul regimului tranzitoriu, se reduce perioada de oscilație, precum și durata practică a acestui regim tranzitoriu. Efectul favorabil al componentei D se explică astfel: componenta D este mai rapidă decât componenta P , datorită ei sesizându-se de fapt tendințele de variație a mărimii a . Componenta D este foarte pronunțată la începutul regimului tranzitoriu și se stinge pe măsură ce sistemul se apropie de regimul staționar. Fiind rapidă, componenta D compensează întârzierile celorlalte elemente din sistemul de reglare, contribuind astfel la îmbunătățirea regimului tranzitoriu.

Utilizarea efectului D nu este însă folositoare în toate cazurile. Dacă procesul are un timp mort T_m important, adăugarea efectului D poate înrăutăți performanțele sistemului de reglare. De asemenea, în cazurile în care perturbațiile au variații rapide, componenta D nu este indicată, întrucât amplifică efectele acestora. Pentru astfel de cazuri trebuie făcută o analiză mai amănunțită spre a stabili dacă este indicat sau nu să fie revăzut un regulator cu efect D .

d. Regulate discontinue bipoziționale și tripoziționale

Asemenea regulate sînt foarte mult întrebuintate în sistemele de reglare unde nu se cer performanțe ridicate în ce privește precizia reglării și se așteaptă o variație continuă între două limite ale mărimii reglate.

Caracteristicile unor asemenea regulate sînt prezentate în figura 11.14. Funcționarea regulatorului, adică dependența dintre

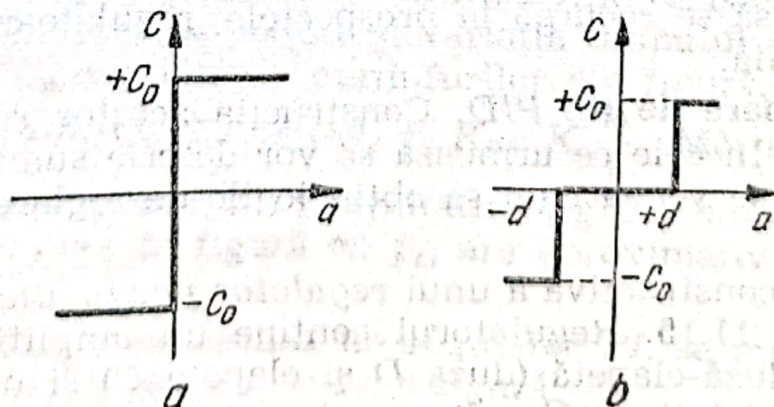


Fig. 11.14

mărimea de comandă c și mărimea de acționare a , este descrisă de următoarele relații:

• Pentru un regulator bipozițional cu caracteristică ideală (fig. 11.14, a):

$$\begin{aligned} a < 0 & \quad c = -c_0 \\ a > 0 & \quad c = +c_0 \end{aligned} \quad (11.5, a)$$

Pentru $a=0$, mărimea c poate fi $+c_0$ sau $-c_0$. Regulatele bipoziționale pot fi realizate astfel încât mărimea c să nu aibă pentru $a=0$ poziții simetrice față de axa lui a , ci valori diferite, dintre care una de obicei zero. Se presupune de asemenea că funcționarea regulatorului este practic instantanee, adică trecerea, pentru $a=0$, a mărimei c de la valoarea $-c_0$ la $+c_0$ sau invers are loc într-un timp neglijabil.

• **Regulator tripozițional.** Caracteristica lui ideală este reprezentată în figura 11.14, b și funcționarea lui este descrisă de relațiile:

$$\begin{aligned} a < -d & \quad c = -c_0 \\ -d < a < +d & \quad c = 0 \\ a > +d & \quad c = +c_0 \end{aligned} \quad (11.5, b)$$

Limitele maximă și minimă pentru mărimea c pot să difere; de asemenea, valoarea lui c pentru intervalul lui a indicat mai sus poate fi diferită de zero.

e. Realizări industriale de regulate

În cele ce urmează se vor da unele indicații sumare asupra realizării fizice a regulatorului, urmînd ca pentru studiarea detaliată a acestui aspect să se recurgă la prospectele regulatelelor fabricate în R. S. România.

• **Regulatele de tip PID.** Construcția acestor regulatele este foarte variată. În cele ce urmează se vor descrie sumar unele realizări, pentru a se vedea cum se obțin legile de reglare, adică relația între c și a .

Realizarea constructivă a unui *regulator pneumatic PID* este arătată în figura 11.15. Regulatorul conține un amplificator de presiune de tip duză-clapetă (duza D și clapeta C) și un amplificator de putere (de debit) A . Cu cît clapeta este mai apropiată de duză, cu atît presiunile p_e și p_c cresc. Poziția x a clapetei depinde de

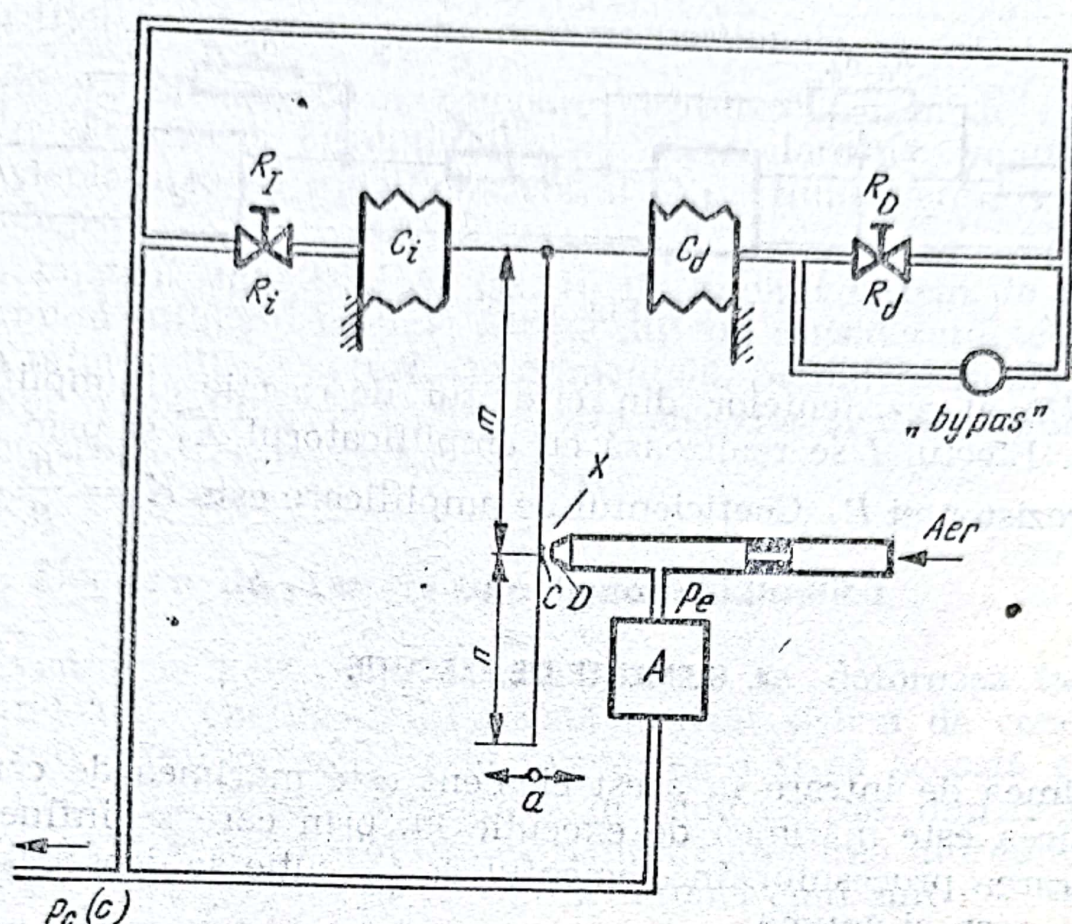


Fig. 11.15

poziția capetelor tijei mn , deci de deplasarea a primită de la elementul de comparație și de deplasarea rezultantă a celor două burdufuri, determinate de presiunea p_c . Deplasările burdufurilor constituie reacții pentru amplificator și anume: prin C_i — reacție pozitivă (are efectul de același sens cu a), iar prin C_d — reacție negativă (efectul este opus lui a). Cu ajutorul robinetului R_i avînd rezistența la curgere R_i se obține, variînd deschiderea, variația timpului integral T_i , iar cu ajutorul robinetului R_d , avînd rezistența la curgere R_d , variînd deschiderea, se obține și variația timpului diferențial T_d . Notînd cu C_i și C_d capacitățile burdufurilor din figură, calculul analitic arată că $T_i = R_i \cdot C_i$, $T_d = R_d \cdot C_d$ și $K_R = K \frac{m}{n}$. Mărimea de acționare a provoacă deplasarea extremității pîrghiei mn , iar mărimea de comandă c , notată în figură cu p_c , are aproximativ expresia din relația (11.4).

○ Notă. Pentru a se realiza un regulator PI, se închide robinetul R_D și se deschide „by-pass“-ul din figură.

Schema unui regulator electronic de tip PID este arătată în figura 11.16. Timpul de derivare T_d se fixează prin modificarea rapor-

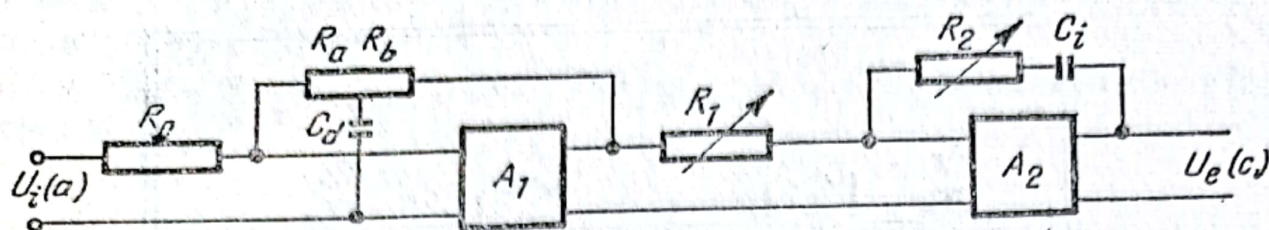


Fig. 11.16

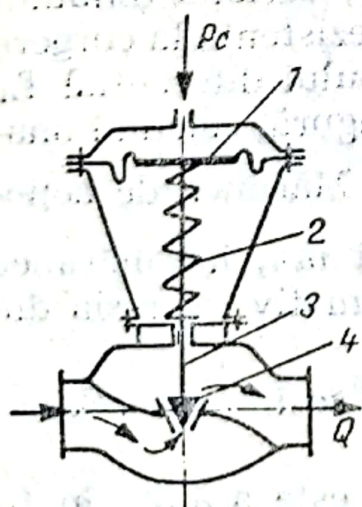
tului R_a/R_b al rezistențelor din circuitul de reacție al amplificatorului A_1 . Efectul I se realizează cu amplificatorul A_2 și prin modificarea rezistenței R_2 . Coeficientul de amplificare este $K_R = \frac{R_2}{R_1}$.

4. ELEMENTE DE EXECUȚIE

Mărimea de intrare în acest element este mărimea de comandă c și ieșirea este mărimea de execuție m , prin care se influențează desfășurarea procesului. În elementul de execuție se deosebesc uneori două părți și anume:

— *un element de acționare*, care formează partea motoare propriu-zisă, pneumatică, electrică sau hidraulică a elementului de execuție (numită încă și *servomotor*) și care primește la intrare mărimea c și produce la ieșire o mărime intermediară x , de obicei o deplasare mecanică;

— *un element de reglare*, care primește la intrare mărimea x și produce la ieșire mărimea de execuție m , adecvată pentru a putea influența desfășurarea procesului P .



a. Elemente de execuție cu acționare pneumatică

Principalul element din această categorie și de altfel cel mai des întâlnit în practică este *robinetul*, a cărui acționare pneumatică întrebuințează o membrană și un resort (fig. 11.17).

Forța $F_1 = p_c S$ determinată de presiunea p_c pe membrana 1 este echilibrată de forța $F_2 = Kx$ a resortului 2. La echilibru, depla-

Fig. 11.17

sarea tijei 3 este $x = \frac{S}{K} p_c$, deci proporțională cu presiunea de comandă p_c . Elementele menționate alcătuiesc partea de acționare a acestui element de execuție. Organul de reglare este ventilul 4, care prin deplasarea sa modifică debitul Q de fluid transmis instalației tehnologice.

Diametrul unui robinet pentru un anumit sistem de reglare se determină utilizând metode bazate atât pe considerații teoretice, cât și pe informații de natură experimentală. Stabilirea finală a dimensiunilor robinetului se face pe baza abacelor și instrucțiunilor date de constructorii robinetelor.

b. Elemente de execuție cu acționare hidraulică

Avantajele unei asemenea acționări se datorează faptului că densitatea de energie transportată într-un sistem de conducere cu ulei sub presiune înaltă este foarte mare și că această energie se transformă în energie mecanică în motoare de dimensiuni mici. Ținând seama de această caracteristică, acționarea hidraulică se prevede de obicei pentru sarcini grele, atunci când sînt necesare viteze sau puteri mari.

c. Elemente de execuție cu acționare electrică

Acționarea electrică a elementelor de execuție se realizează cu următoarele dispozitive electrice:

- *electromagneți;*
- *motoare electrice.*

• **Elementele de execuție acționate cu electromagneți** nu pot avea decît două poziții staționare, trecerea de la una la alta făcîndu-se într-un timp scurt și putînd fi considerată practic instantanee.

• **Elementele de execuție acționate cu motoare electrice.** Cu acestea se pot realiza orice fel de elemente de execuție: cu două sau mai multe poziții, putînd varia continuu, depinzînd de construcția lor și de caracteristicile sistemului de reglare în care sînt utilizate.

Dacă elementul de execuție necesită o acționare continuă de putere redusă, cel mai întrebuintat este motorul de curent alternativ bifazat, care se construiește cu unele caracteristici speciale și anume pentru a avea un răspuns rapid și precis.

Capitolul 12

FUNCȚIONAREA SISTEMELOR DE REGLARE

A. STABILITATEA SISTEMELOR DE REGLARE

Un sistem de reglare automată poate fi stabil sau nestabil. Un asemenea sistem este denumit stabil *cînd după o perturbație mărimea reglată va evolua spre o valoare stabilă, neoscilantă.*

Un sistem de reglare automată realizează un lanț de schimburi de energie — măsurare, comparare, corectare — care au loc în mod continuu într-un circuit închis, între dispozitivul de automatizare și proces. Ca rezultat al desfășurării acestor schimburi de energie, mărimea de ieșire a sistemului poate să oscileze în trei feluri:

- să aibă oscilații de amplitudine din ce în ce mai mare (fig. 12.1, a);
- să oscileze cu o amplitudine constantă (fig. 12.1, b);
- să oscileze cu o amplitudine descrescătoare (fig. 12.1, c).

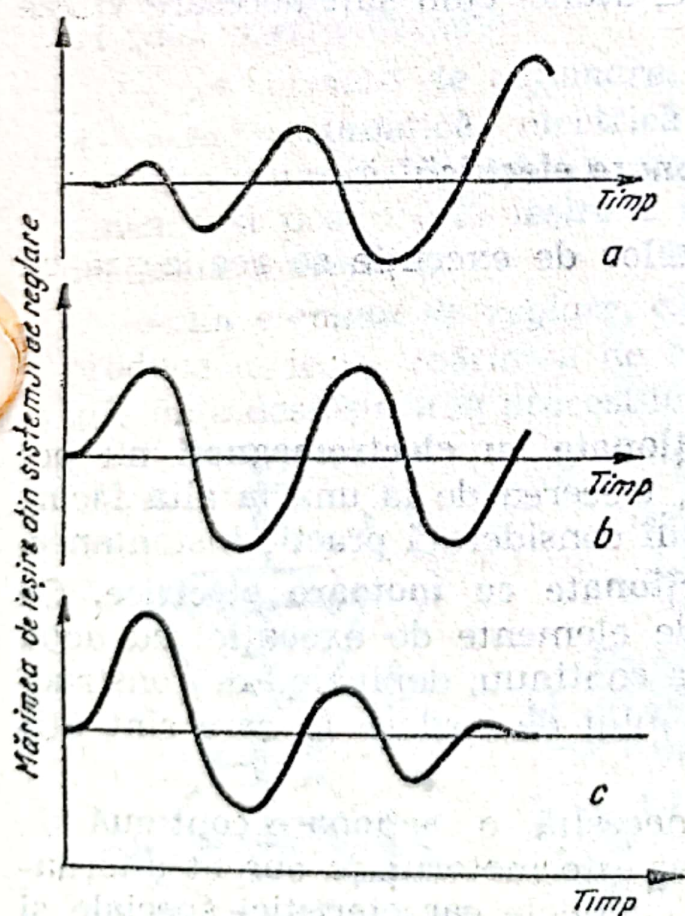


Fig. 12.1

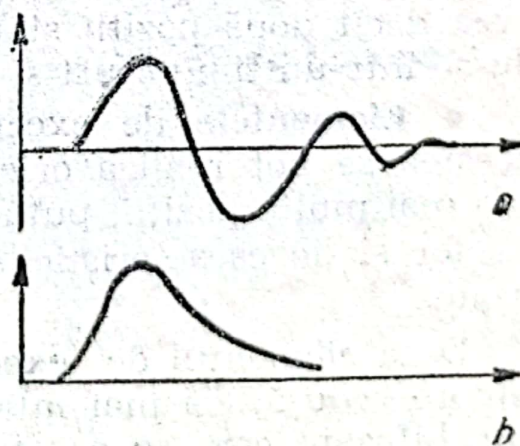


Fig. 12.2

În primele două cazuri sistemul este instabil. În ultimul caz, oscilațiile pot chiar să înceteze. Aceasta este situația de stabilitate urmărită în reglarea automată. Când oscilațiile au încetat, se obține un *regim staționar al sistemului de reglare*.

În condițiile unei funcționări stabile a sistemului de reglare, la apariția unei perturbații pot apărea două feluri de variații ale parametrului reglat;

- o revenire ciclică (*regim tranzitoriu oscilant*) la un nou regim staționar, deci la o nouă valoare constantă a parametrului reglat (fig. 12.2, a);

- un *regim tranzitoriu aperiodic*. În acest caz, parametrul reglat revine la o valoare constantă fără oscilație (fig. 12.2, b).

Pe lângă condiția de stabilitate, care trebuie asigurată în mod obligatoriu, sistemul de reglare trebuie să mai îndeplinească și o serie de **cerințe de calitate**. Pentru variația treaptă a mărimii de intrare sau a perturbației, principalele cerințe se referă la:

- *eroarea în regim staționar*, dată de diferența dintre valoarea ideală, prescrisă la intrare, și valoarea reală a mărimii de ieșire în regim staționar;

- *durata regimului tranzitoriu* (timpul de stabilire): regimul tranzitoriu se consideră încheiat atunci când abaterile mărimii reglate față de valoarea staționară se încadrează și rămân în limita de $\pm 2\%$ din valoarea staționară;

- *suprareglarea*; ea se definește ca depășirea maximă de către mărimea de ieșire, în decursul primei oscilații a regimului tranzitoriu, a valorii staționare care se stabilește după terminarea acestui regim.

Se impune ca toți acești indici să fie mai mici decât valorile limită stabilite prin tema de proiectare.

B. ALEGEREA TIPULUI DE REGULATOR

În alegere trebuie avute în vedere atât considerentele tehnice, cât și cele economice. Aparatura cu care se realizează un sistem de reglare trebuie să fie de o clasă de precizie satisfăcătoare pentru cerințele tehnologice ale procesului în regim staționar; caracteristicile dinamice ale acestei aparaturi și în primul rând legile de reglare ale regulatorului trebuie să permită realizarea regimului tranzitoriu dorit. Performanțele sistemelor de reglare realizate cu aceste elemente nu trebuie însă să depășească necesitățile, o asemenea dotare fiind neeconomică. În cele ce urmează se vor expune criterii consacrate de practică pentru alegerea reglatoarelor în diferite situații de industrie, în funcție de caracteristicile procesului reglat.

○ **Notă.** Sînt diferite posibilități pentru a se face această alegere. Trebuie precizat însă că din cauza diferitelor feluri de perturbații, alegerea, oricare ar fi metoda avută în vedere, are o valoare informativă și deci trebuie verificată după mai multe metode în cazurile în care există îndoieli.

1. ALEGEREA TIPULUI DE REGULATOR ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICILE GENERALE ALE PROCESULUI ȘI ALE PERTURBAȚIILOR

• În procesele cu constantă de timp dominantă este necesară prezența caracteristicii de reglare P . Asemenea cazuri se întîlnesc cînd restul constantelor de timp sînt mici și aproximativ de același ordin de mărime. Dacă perturbațiile de sarcină sînt mari, este indicat un regulator PI , pentru că abaterea staționară cu un regulator P ar fi prea mare.

○ **Notă.** Poate fi întrebuițat și un regulator P numai dacă se poate face o reglare cu un K_R foarte mare (abaterea staționară mică).

• În procesele cu două sau mai multe constante de timp dominante, adică cu două sau mai multe capacități, un regulator P nu este de obicei satisfăcător pentru că abaterea staționară poate fi mai mare chiar dacă se alege cel mai mare K_R posibil. În asemenea cazuri este indicată utilizarea unui regulator PI . Dacă, în plus, constantele de timp sînt mari, atunci este indicat un regulator PID .

2. ALEGEREA TIPULUI DE REGULATOR PE BAZA EXPERIENȚEI OBTINUTE ÎN INDUSTRIE

Din statisticile făcute în automatizările industriale pentru procese lente a rezultat, pentru diferiți parametri, soluția de utilizare a tipurilor de regulatoare continue cuprinsă în tabelul 12.1. Primul tip de regulator menționat este cel mai des întrebuițat.

La reglările mai puțin pretențioase ale acestor parametri se poate adopta și un regulator bi- sau tripozițional.

Parametrul reglat	Tipul regulatorului
Nivel	P, PI
Presiune	PI, P, PID
Debit	PI
Temperatură	PID, PI, P

C. ACORDAREA REGULATOARELOR ÎN SISTEMELE DE REGLARE SIMPLE

Sistemele de reglare simple sînt cele mai frecvent întîlnite în industrie. Prin acordarea reguletoarelor se înțelege alegerea valorilor parametrilor variabili K_R (BP), T_i și T_d , astfel încît funcționarea în regim tranzitoriu și staționar a sistemului să se desfășoare conform unor cerințe prestabilite.

Pentru realizarea acordării se poate folosi unul dintre procedeele următoare:

- calculul analitic, avînd la bază anumite criterii și cunoscînd parametrii procesului;

- utilizarea unor metode de calcul care folosesc o serie de relații stabilite pe baza experienței pe instalații similare sau pe modele; aplicarea acestor relații necesită cunoașterea fie a parametrilor procesului (K_p , T , T_m), fie a altor date care se deduc experimental.

- utilizarea unor metode experimentale, care se referă de fapt la efectuarea unor încercări succesive.

Datorită diversității mari de cerințe care se pot impune sistemelor de reglare, avînd în vedere desfășurarea procesului tehnologic, modul de acționare a perturbațiilor etc., există un număr destul de mare de criterii și metode de acordare, fiecare dintre acestea fiind justificată în anumite situații.

În continuare se vor prezenta cîteva dintre criteriile și metodele de acordare mai des folosite. Primul dintre acestea se aplică destul de frecvent în cazul proceselor rapide și mai rar în cazul proceselor lente. Celelalte criterii și metode se aplică mai ales proceselor lente, la care de obicei calculele analitice sînt mai puțin precise și se face apel la diverse încercări experimentale.

1. CRITERII DE ACORDARE

a. Criteriul modulului și criteriul simetriei

Aceste două criterii sînt oarecum echivalente, însă primul se aplică pentru variații treaptă ale mărimilor exterioare, iar al doilea — pentru variații rampă (mărimea crește uniform în timp). Criteriile urmăresc obținerea unor comportări satisfăcătoare atît modificarea semnalului de intrare, cît și a perturbației. În esență, se urmărește ca, prin introducerea unei componente integra-

toare, să se asigure eroarea staționară nulă, iar prin alegerea constantelor de timp ale regulatorului să se compenseze constantele de timp principale ale procesului. Pentru un sistem acordat conform criteriului modulului rezultă o supracreștere mică (4,3%) și un timp de stabilire relativ mic, egal cu $6,6 T_s$, unde T_s este suma constantelor de timp necompensabile (de exemplu, timpul mort al unor elemente sau constantele de timp ale unor filtre introduse pentru eliminarea unor semnale parazite).

b. Criteriul suprafeței minime sau al coeficientului de amortizare

Acest criteriu, cunoscut sub numele de *criteriul Ziegler-Nichols*, este cel mai utilizat în practică. El se aplică la stabilirea coeficienților regulatorului pentru sistemele de reglare în care mărimea de intrare este constantă ($i=i_0$) și în care sînt importante atît obținerea unui regim tranzitoriu de scurtă durată, cît și a unei variații acceptabile în timpul acestui regim tranzitoriu a parametrului reglat față de valoarea prescrisă i_0 . Conform acestui criteriu, coeficienții regulatorului trebuie astfel aleși încît suprafața în valoare absolută limitată de curba $a(t)=i_0-r$ și de axa timpului să fie minimă (fig. 12.3). Cînd această condiție este îndeplinită, regimul tranzitoriu este destul de scurt și valoarea maximă a lui a este mică. S-a stabilit că această suprafață este suficient de mică dacă amplitudinile succesive de același semn scad în raport 4 : 1, adică $\frac{a_1}{a_2} = 4$.

c. Criteriul perturbației minime (răspuns tranzitoriu aperiodic)

Prin aplicarea acestui criteriu se urmărește să se obțină o funcționare a procesului cu o variație minimă atît în ce privește agentul care se introduce în proces prin elementul de execuție, precum și în ceea ce valoarea parametrului reglat. Aceste condiții necesită de obicei o variație aperiodică a parametrului reglat (fig. 12.4). Criteriul se aplică la procesele la care un răspuns tranzitoriu oscilant ar provoca perturbații în funcționarea altor sisteme de reglare. De exemplu, variații ciclice în funcționarea unui robinet care asigură admiterea de abur într-un proces pot pro-

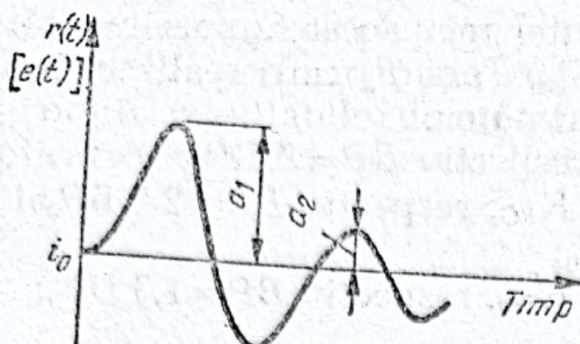


Fig. 12.3

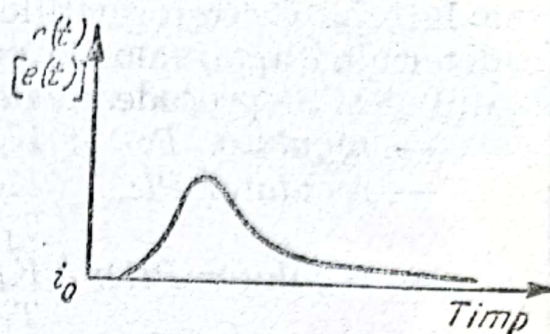


Fig. 12.4

voca perturbații în presiunea distribuției de abur și deci pot produce perturbații în sistemele de reglare a altor procese care utilizează pentru alimentare aceeași rețea de abur.

De obicei, un răspuns aperiodic se obține în detrimentul unor caracteristici ale reglării, conducând de exemplu la un regim tranzitoriu mai lung și, din această cauză, este realizat numai în cazuri speciale.

2. METODE DE ACORDARE

a. Metoda limitei de stabilitate

Această metodă este cel mai des întrebuințată în practică pentru procesele uzuale relativ lente și cu desfășurare continuă. Se aplică în cazurile în care mărimea de intrare este constantă, perturbațiile care apar în desfășurarea procesului sînt perturbații de sarcină cu o durată mai mare în comparație cu constantele de timp ale procesului și condițiile cerute regimului tranzitoriu nu sînt deosebit de pretentioase. Criteriul este cel al suprafeței minime cu amortizarea oscilațiilor în raportul 4 : 1.

Dacă sistemul de reglare este dotat cu un regulator PID, această metodă se aplică în felul următor: se stabilește pentru T_i o valoare infinită sau valoarea maximă posibilă și pentru T_d — valoarea zero sau cea mai mică valoare posibilă. În felul acesta regulatorul devine practic de tip P. După cîtva timp de la aceste modificări ale lui T_i și T_d , se obține un regim staționar.

Se modifică apoi amplificarea, mărindu-se valoarea lui K_R pînă cînd mărimea de ieșire are o variație oscilantă de amplitudine constantă. În această situație, se notează cu K_{RO} valoarea respectivă a lui K_R , și perioada de oscilație cu T_0 .

Pe tot timpul experimentărilor este necesar să nu acționeze în sistemul de reglare o altă perturbație decît modificarea voită

a lui K_R . Cu informațiile obținute prin aceste experimentări se determină apoi valorile pentru K_R , T_i și T_d care realizează criteriul ales. Se procedează în felul următor:

- regulator P : $K_R=0,5$ respectiv $BP=2 BP_0$;
- regulator PI : $K_R=0,45 K_{RO}$, respectiv $BP=2,2 BP_0$;
 $T_i=0,8 T_0$;
- regulator PID : $K_R=0,75 K_{RO}$, respectiv $BP=1,3 BP_0$;
 $T_i=0,6 T_0$.
 $T_d=0,1 T_0$.

b. Metodă întrebuițind aproximarea procesului printr-o constantă de timp și un timp mort

Numeroase recomandări pentru acordarea reguletoarelor se bazează pe curba de răspuns a procesului (inclusiv elementul de execuție și circuitul de măsurare) la o modificare treaptă a mărimii de intrare, ridicată experimental prin metoda descrisă în capitolul 11.

Dintre toate variantele de acordare a regulatorului, cea mai întrebuițată în practică pentru sistemele de reglare simple, cu mărime de intrare constantă, este următoarea:

— regulator P : $K_R = \frac{1}{K_p} \cdot \frac{T}{T_m}$ respectiv $BP = K_p \cdot \frac{T_m}{T} \cdot 100$;

— regulator PI : $K_R = 0,9 \frac{1}{K_p} \cdot \frac{T}{T_m}$, respectiv

$$BP = 1,1 K_p \frac{T_m}{T} \cdot 100; T_i = 3,3 T_m;$$

— regulator PID : $K_R = 1,5 \frac{1}{K_p} \cdot \frac{T}{T_m}$ respectiv

$$\frac{BP}{100} = 0,7 K_p \cdot \frac{T_m}{T};$$

$$T_i = 2,5 T_m; T_d = 0,4 T_m.$$

c. Metoda încercărilor succesive

Aplicarea unei asemenea metode pentru acordarea reguletoarelor presupune că sistemul de reglare este în funcționare și că funcționează în mod normal. Ideea generală este de a se începe

cu acordarea grosieră pentru toți coeficienții regulatorului și a se îmbunătăți performanțele reglării prin mici modificări, pînă ce se obțin rezultatele dorite. Există mai multe procedee pentru aplicarea metodei încercărilor succesive recomandate de fabricile constructoare.

Capitolul 13

SISTEME DE REGLARE SPECIALE ȘI SISTEME DE REGLARE A PARAMETRILOR TEHNOLOGICI UZUALI

A. SISTEME DE URMĂRIRE

Un sistem de urmărire este acel sistem la care mărimea de ieșire e trebuie să fie egală (să urmărească) cu mărimea de intrare i , care are o variație întâmplătoare. Astfel de sisteme se utilizează la cîrma navelor, la dirijarea avioanelor, a antenelor de radiolocație, la poziționarea unor piese la unele mașini-unelte etc.

În figura 13.1 se dă schema unui astfel de sistem. Cu linii pline s-au figurat legăturile electrice, iar cu linie punct — cele mecanice. Axul comandat al obiectului comandat OC trebuie să execute aceeași deplasare unghiulară α_e ca și deplasarea axului de comandă, α_i . Pe cele două axe sînt plasate cursoarele unor potențiometre identice, P_1 și P_2 . Cît timp axele și deci și cursoarele ocupă poziții identice, tensiunea culeasă între cursoare este nulă și sistemul este în repaus. Dacă axul de comandă își schimbă poziția, apare o tensiune U_a care este amplificată de amplificatorul A, rezultînd tensiunea U_m , care se aplică la bornele motorului de curent continuu M. Acesta începe să se rotească, deplasînd — prin intermediul reductorului Red — obiectul comandat OC. Legătura dintre axul co-

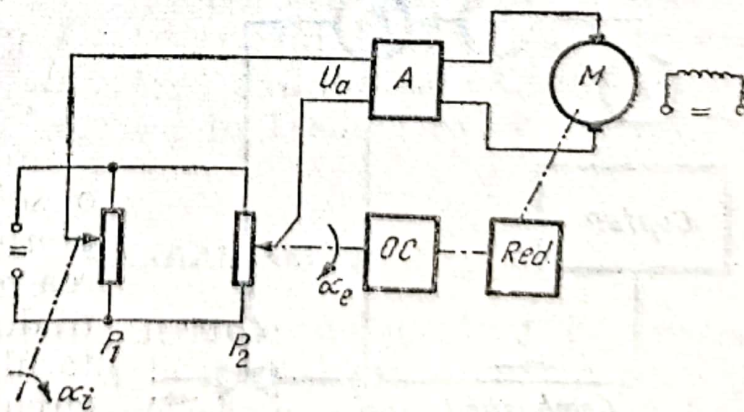


Fig. 13.1

mandat și potențiometrul P_2 — care constituie tocmai legătura de reacție a sistemului — asigură modificarea poziției cursorului potențiometrului P_2 , astfel că atunci când α_e devine din nou egal cu α_i , $U_a=0$ și sistemul se oprește.

○ **De remarcat** că punctul de comandă și cel comandat pot fi la distanță oricît de mare între ele, trebuind doar să se asigure legăturile electrice. În timp ce cuplul necesar deplasării axului de comandă este mic, cuplul realizabil la axul comandat poate fi foarte mare, funcție de puterea motorului M .

Exercițiu. Să se întocmească schema bloc a sistemului de urmărire din figura 13.1.

La unele procese tehnologice se impune ca *mărimea de ieșire să varieze după o anumită lege* (de exemplu, la tratamentele termice se impune modificarea temperaturii după o curbă prescrisă). Aceasta se poate obține cu un sistem de reglare obișnuit, la care se impune o variație corespunzătoare pentru mărimea de intrare și care trebuie urmărită de mărimea de ieșire. Aceste sisteme se deosebesc de sistemele de urmărire descrise mai sus prin aceea că mărimea de intrare nu variază întîmplător, ci după un anumit program. Pentru a le distinge, aceste sisteme se numesc *de reglare după program*.

B. SISTEME DE REGLARE ÎN CASCADĂ

Sistemele de reglare în cascadă sînt des întîlnite în practică, mai ales în reglările de viteză sau de temperatură, atunci cînd trebuie evitate atît abateri mari ale parametrului reglat față de mărimea de referință, cît și regimuri tranzitorii lungi.

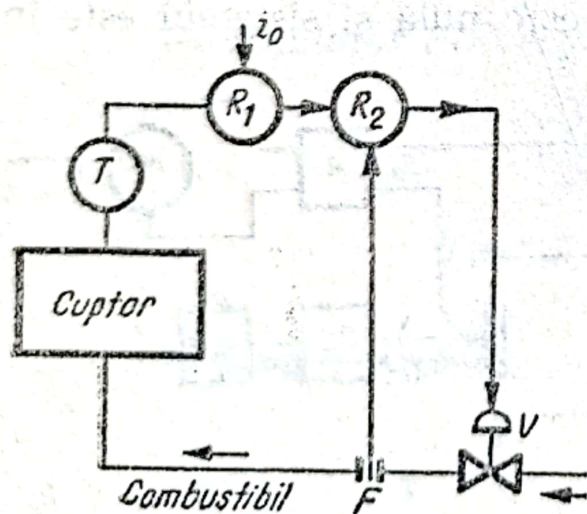


Fig. 13.2

1. EXEMPLU DE REGLARE ÎN CASCADĂ

În figura 13.2 este reprezentată o schemă de reglare în cascadă a temperaturii într-un cuptor. Valoarea măsurată a temperaturii de către traductorul T este transmisă regulatorului de temperatură R_1 . Într-un circuit de reglare simplu, mărimea de ieșire a regulatorului R_1 s-ar

transmite direct robinetului de reglare V , care modifică debitul de combustibil.

La un astfel de sistem de reglare simplă apare următorul neajuns: la o modificare a presiunii pe conducta de alimentare cu combustibil, aceasta ar provoca o schimbare a debitului de combustibil pătruns în arzător, fără ca robinetul V să-și fi schimbat poziția. Se produce astfel o modificare a temperaturii în cuptor; modificarea de temperatură este sesizată și corectată de bucla de reglare a temperaturii, prin schimbarea poziției robinetului V , dar această corecție se produce cu mare întârziere, din cauza inerției termice mari a cuptorului.

Corecția se poate face mult mai rapid *dacă se introduce o buclă secundară de reglare a debitului*. În acest scop se introduce traductorul de debit F și regulatorul de debit R_2 , care primește ca mărime prescrisă mărimea de ieșire din R_1 . În felul acesta, orice modificare nedorită a debitului este rapid corectată de bucla internă de reglare a debitului. Se observă că debitul este menținut la valoarea prescrisă de regulatorul de temperatură, valoare care asigură realizarea valorii dorite a temperaturii.

În capitolul 15 se va prezenta un exemplu de reglare în cascadă a vitezei.

2. AVANTAJELE REGLĂRII ÎN CASCADĂ

Din exemplul prezentat se desprind câteva aspecte generale legate de reglările de acest tip. Se măsoară mai multe mărimi din sistem (două sau mai multe) fiecare mărime măsurată fiind transmisă la câte un regulator; regulatoarele se montează în cascadă (unul după altul), astfel ca ieșirea dintr-un regulator să constituie mărime de prescriere pentru următorul. Se formează de fapt mai multe bucle de reglare, interioare una alteia. Buclele se aranjează astfel încât cea exterioară să corespundă mărimii reglate, iar spre interior să fie din ce în ce mai rapide (să aibă constante de timp mai mici). Din această aranjare decurge și o comportare mai bună a sistemelor de reglare în cascadă și anume: efectul unei perturbații care apare într-o buclă interioară este rapid anihilat de către bucla respectivă și se resimte în mică măsură în buclele exterioare și deci afectează puțin mărimea reglată.

3. ACORDAREA REGULATOARELOR

Acordarea regulatoarelor din sistemele de reglare în cascadă se face după aceleași criterii ca și la reglările simple. Se pornește de la bucla interioară, care se acordează independent de restul sis-

temului. Odată efectuată această operație, bucla interioară apare ca parte fixată în cea exterioară, în care urmează să se aleagă și să se acordeze regulatorul.

C. CARACTERISTICI ALE SISTEMELOR DE REGLARE ȚINÎND SEAMA DE PARAMETRII REGLAȚI

1. REGLĂRI DE VITEZĂ

În cazurile în care sînt necesare reglări de viteză la diverse mașini de lucru, se preferă acționările cu motoare de c.c. comandate prin tensiunea rotorică. Drept elemente de execuție se folosesc în ultima vreme cu precădere redresoare comandate realizate cu tiristoare. La reglările de viteză se utilizează de cele mai multe ori scheme în cascadă, introducîndu-se de obicei o reacție după viteza de rotație și una după curentul rotoric. Față de avantajele obișnuite ale reglării în cascadă, apare astfel în plus și posibilitatea de a se asigura o limitare a valorii curentului, care astfel ar putea depăși anumite limite periculoase. Cele două regulatoare din schema în cascadă sînt de tip *PI*, acordate conform criteriului modulului sau simetriei.

În anumite cazuri se realizează simultan și o reglare a curentului de excitație.

2. REGLĂRI DE NIVEL

În numeroase cazuri de reglare a nivelului nu se cere o mare precizie a reglării; este suficient, de exemplu, să se mențină nivelul cu o precizie de cîțiva centimetri pentru o înălțime totală de cîțiva decimetri. S-ar putea trage concluzia că un regulator bipozițional ar fi suficient și în practică deseori o asemenea dotare este satisfăcătoare. Trebuie totuși analizate mai îndeaproape instalațiile tehnologice pentru că, de exemplu, reglarea nivelului într-un rezervor de suprafață orizontală mică în care debitele de intrare și ieșire sînt mari este o problemă mult mai dificilă decît reglarea cu aceeași precizie a nivelului într-un rezervor de mare capacitate în raport cu debitul care îl traversează. În asemenea situații, cu o toleranță acceptată în ce privește nivelul reglat, se recomandă un regulator continuu de tip *P*.

În continuare se prezintă un sistem bipozițional de reglare a nivelului lichidului într-un rezervor (fig. 13.3). Să presupunem

că apare un debit de pierderi Q_p ; nivelul lichidului coboară; ca atare, plutitorul și contactul mobil C_1 coboară. În momentul în care C_1 atinge contactul fix C_2 în circuitul electric se asigură alimentarea bobinei contactorului R . Contactele R se închid și motorul asincron M este cuplat la rețea, antrenând pompa P . Aceasta trimite un debit de lichid Q_a (presupus mai mare decât Q_p) în rezervor, nivelul lichidului crește, contactul $C_{1,2}$ se deschide și pompa își încetează acțiunea. Dacă debitul Q_p se menține, fenomenele se repetă, adică nivelul scade, se reînchid contactele C_1, C_2 etc. Nivelul se modifică deci permanent în jurul valorii prescrise (prescrierea se face deplasând pe verticală contactul C_2).

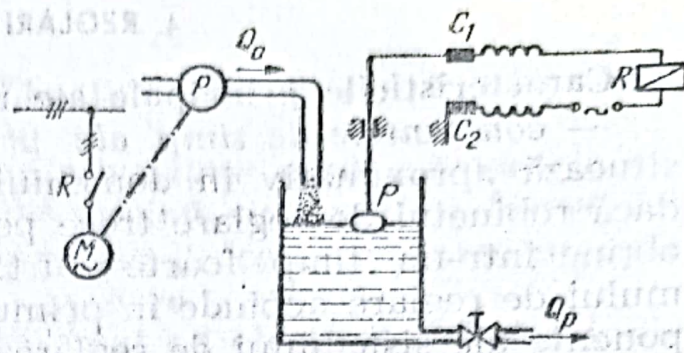


Fig. 13.3

Din acest exemplu se desprind câteva *caracteristici generale ale reglării bipoziționale*, indiferent de mărimea reglată:

- reglarea bipozițională este mai simplă din punct de vedere constructiv decât cea continuă și deci mai economică;

- performanțele realizate cu o reglare bipozițională sînt mai slabe decât cele obținute cu un reglaj continuu, avînd în vedere că mărimea de ieșire nu se menține constantă, ci variază între anumite limite în jurul valorii prescrise;

- atunci cînd nu se impun precizii prea ridicate, este indicat să se adopte un reglaj bipozițional.

3. REGLĂRI DE PRESIUNE

Procesele în care se reglează presiunea sînt caracterizate de obicei prin constante de timp mici și timp mort mic și ca urmare poate fi suficientă dotarea sistemului de reglare în cele mai multe din cazuri numai cu un regulator P. Dacă reglarea este mai dificilă pentru că perturbațiile de sarcină sînt importante, sau presiunea trebuie menținută foarte riguros constantă, sau procesul are un timp mort important, în afară de efectul P regulatorul va necesita și un efect I și poate chiar un efect D.

4. REGLĂRI DE DEBITE

Caracteristicile principale ale reglării de debit sînt următoarele:

— *constantele de timp ale procesului sînt foarte mici.* Ele se situează aproximativ în domeniul 0,5 ... 3 s. Aceasta înseamnă că dacă robinetul de reglare trece pe o nouă poziție, debitul final se obține într-un timp foarte scurt. Răspunsul tranzitoriu al sistemului de reglare depinde în primul rînd de celelalte elemente componente ale sistemului de reglare, adică de constantele de timp ale elementului de măsurare, regulatorului, robinetului de execuție și — în cazul sistemelor realizate cu elemente pneumatice — de lungimea conductelor pneumatice de legătură;

— *semnalul de ieșire din proces are fluctuații cu o frecvență mare.* Unele variații de debit provin de la pompă sau compresor, de la variații întîmplătoare prin robinet sau prin diafragma de măsurare și sînt prea rapide pentru a fi corectate printr-un sistem de reglare. Din cauză că în general elementele de măsurare a debitelor au o amortizare mare, asemenea fluctuații nu influențează desfășurarea procesului. Totuși, cu unele elemente de măsurare pot ajunge la regulator și la înregistrator.

Un regulator de tip *PID* nu este de obicei indicat în reglările de debit, deoarece efectul *D* amplifică efectul fluctuațiilor rapide. Din această cauză se construiesc regulatoare speciale pentru debite, care sînt numai de tipul *PI*.

5. REGLĂRI DE TEMPERATURI

Toate sistemele de reglare a temperaturii sînt de fapt sisteme de reglare a transferului de căldură. Din cauza caracteristicilor acestui transfer, procesele respective au *constante de timp mari*.

Timpul mort este de obicei mare, mai ales în utilajele în care se încălzesc fluide, cum este cazul coloanelor de distilare. În unele procese (de exemplu în cuptoarele de încălzire) constantele de timp și timpul mort sînt mai mici.

Întîrzierile care apar în măsurarea temperaturii sînt de asemenea un factor important. Elementele de măsurare pentru acest parametru sînt de obicei introduse într-un tub de protecție care produce întîrzieri suplimentare.

Procese care au o capacitate mare, constantă de timp și timpi morți mici pot fi reglate cu sisteme dotate cu *regulatoare bipoziționale*. În această categorie intră reglarea temperaturii în cuptoare și cuve. Reglarea bipozițională se aplică în cele mai multe din cuptoarele electrice, în cele mai multe cuptoare cu tuburi radiante și în cuptoarele cu flacără.

Dacă este necesară o reglare mai precisă, se întrebuintează un regulator cu caracteristică P .

Reglatoarele de tip PI sînt întrebuintate cînd constantele de timp sînt mari, iar perturbațiile de sarcină sînt mari și frecvente. Aceste condiții se întîlnesc în numeroase procese continue, precum și în schimbătoare de căldură și în cuptoare continue.

Reglatoarele avînd efect D combinat cu efecte P și I sînt indicate în cele mai multe reglări de temperaturi în care constantele de timp sînt mari.

6. REGLĂRI DE AMESTEC (CONCENTRAȚIE)

Într-un proces în care se realizează o concentrație, dacă se presupune că se asigură un amestec perfect și dacă se fac și alte presupuneri simplificatoare, s-a stabilit că procesul are o constantă de timp $\frac{V}{Q}$, în care V este volumul rezervorului și Q — debitul de ieșire. Pentru o descriere mai corectă a procesului ar trebui să se țină seamă și de timpii morți care apar în desfășurarea unui asemenea proces și care depind de volumul rezervorului, de viteza de circulație a lichidelor, precum și de amplasarea și funcționarea elementului de măsurare. Fenomenele în ansamblu sînt complexe, însă caracterizarea procesului se poate face satisfăcător în practică printr-o singură constantă de timp $T = \frac{V}{Q}$ și un timp mort T_m .

Capitolul 14

NOȚIUNI DE TELEMECANICĂ

A. FUNCȚIUNILE ȘI STRUCTURA SISTEMELOR TELEMECANICE

Sistemele de telemecanică reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații: măsurare, comandă sau semnalizare*. Exemple de procese de producție în care este necesară utilizarea sistemelor de telemecanică sînt:

— procese de producție complexe în care diferite părți, deși situate la distanță mare unele de altele, funcționează în strînsă

legătură: stațiile de pompare ale unei conducte de țiței, stațiile de compresoare, de reglare și măsurare ale unei conducte magistrale de gaz metan, sondele dintr-o schemă petrolieră, sistemele de irigație, sisteme energetice cuprinzând centrale electrice, stații de transformare, linii de transport și distribuție, controlul centralizat al circulației feroviare etc.;

— procese de producție la care se impune conducerea de la distanță din considerente de securitate și protecție a muncii sau pentru că este imposibilă situarea operatorului în locul în care se desfășoară procesul respectiv: lucrări de foraj la mare adâncime, instalații industriale cu temperaturi ridicate sau scăzute sau cu mediu radioactiv, conducerea de la distanță a reactoarelor nucleare, a rachetelor cosmice sau sateliților.

• Telemecanica permite realizarea următoarelor **funcțiuni**:

— *telemăsurarea*, adică transmiterea la distanță a unei măsurări, nivel, debit, tensiune, deplasare etc.;

— *telecomanda*, adică transmiterea la distanță a unei comenzi: pornirea sau oprirea unui agregat etc.;

— *telesemnalizarea*, adică transmiterea la distanță a unei informații: apariția unei avarii, depășirea unor limite în procesul supravegheat, poziția închis sau deschis a unui întrerupător etc.;

— *telereglarea*, care constă în general în transmiterea unor mărimi de intrare în sistemele de reglare locale.

• O instalație de telemecanică se compune din (fig. 14.1):

— *obiectivele industriale* în care se desfășoară procesul tehnologic controlat, notate în figura 14.1 cu OC;

— *postul de dispecer* de unde se controlează obiectivele industriale respective, notat în figura 14.1 cu PD;

— *sistemul de comunicație* care asigură schimbul de informații în ambele sensuri între OC și PD și care cuprinde echipamentele de transmisie și recepție SC și canalele de telecomunicație $C_1 \dots C_n$. Canalul de telecomunicație poate fi circuit fizic, canal purtător telegrafic, canal radio etc.

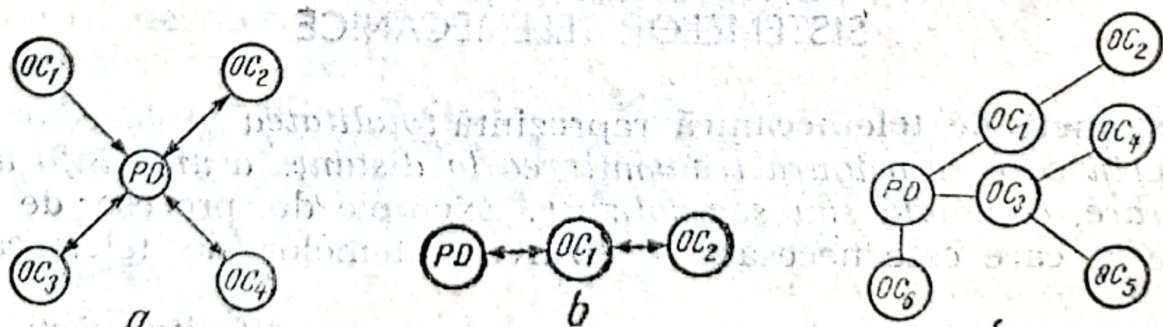


Fig. 14.1

Obiectivele controlate ale unei instalații complexe pot avea în spațiu o distribuție: radială (fig. 14.1, a), liniară (fig. 14.1, b) sau arborescentă (fig. 14.1, c).

B. MESAJE TELEMECANICE

Conform cu terminologia utilizată în telemecanică, se numește **mesaj** produsul unei surse de informație, **semnal** — mesajul transformat în vederea transmisiei cu sistemul de comunicație, **canal** — totalitatea mijloacelor utilizate între sursa de informație și receptorul de informație pentru transmiterea informației.

În figura 14.2 se arată simplificat structura unei instalații de telemecanică în cazul general. S-a notat cu PD terminalul situat la dispecer, cu $OC_1 \dots OC_n$ — terminalele de la obiectivele telemecanizate și cu $C_1 \dots C_n$ — canalele de telemecanică. Atât la dispecer, cât și la posturile controlate, există instalații SC de emisie și de recepție a semnalelor.

O instalație de telemecanică trebuie să asigure transmiterea între PD și OC a tuturor informațiilor conținute în mesaj, reducând la maximum influența perturbațiilor care pot apărea în sistemul de comunicație.

Mesajele telemecanice sînt produse de surse de informație SI ce se găsesc la OC și PD . Pentru transmiterea lor, mesajele sînt transformate în semnale electrice de emițătorii de semnale ES afectați fiecărei surse de informație și apoi sînt transmise prin sistemul de comunicație la receptorii de informație RI prin receptorii de semnale intermediare RS . Aceștia din urmă au funcțiunea de a reconverti semnalele în mesaje. Receptorii de informație RI primesc și interpretează mesajele recepționate conform specificului acestora.

Sursele de informație de la OC sînt reprezentate de procesul controlat. Sursele de informații de la PD sînt reprezentate de operatorul uman O al postului de dispecer sau de aparatura de comandă care îl înlocuiește în instalațiile complet automatizate. Receptorii de informație de la OC sînt reprezentați de elementele de execuție

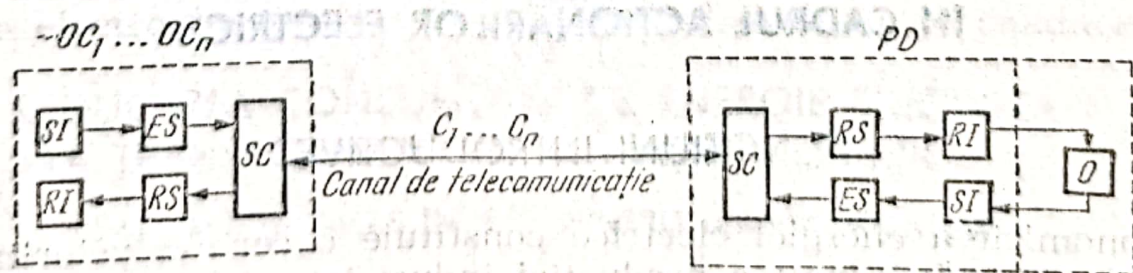


Fig. 14.2

care acționează prin telecomandă asupra procesului, iar cei de la UP sînt reprezentați de operatorul uman O sau de aparatura automată în varianta complet automatizată.

- **Mesajele de telecomandă**, generate de SI de la PD, pot iniția:
 - *telecomandă de alegere*, numită și selecție a unui OC sau a unui parametru controlat în cadrul OC;

- *telecomandă operativă* de elemente de execuție de la OC.

Mesajele de telemăsurare sînt generate de SI de la OC.

- **Mesajele de telesemnalizare** sînt generate tot de SI de la OC și se pot clasifica în:

- *telesemnalizare funcțională*, care indică poziția sau starea unor elemente de execuție sau agregate de la OC și schimbările intervenite în acestea;

- *telesemnalizare de alarmă*, care indică depășirea valorilor prescrise ale unor parametri tehnologici, situații prevenitoare de avarii și situații de avarii;

- *telesemnalizări de confirmare*, transmise către PD, a telecomenzilor recepționate de OC.

- **Mesajele de telereglare** constau în general în transmiterea unei valori prescrise de la PD a unor circuite de reglare locală, controlate de multe ori prin telemăsurare, de exemplu pentru reglarea puterii unei centrale electrice.

Din punctul de vedere al desfășurării în timp, mesajele teleme-canice pot fi *continue* sau *discrete*.

Capitolul 15

MODALITĂȚI DE REDUCERE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ UTILIZÎND TEHNOLOGII MODERNE ÎN CADRUL ACȚIONĂRILOR ELECTRICE

A. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Economisirea energiei electrice constituie o cerință prioritară a dezvoltării în ritm înalt a producției industriale. În toate ramurile industriale, dar cu precădere în metalurgie, în industria materialelor

de construcție, la prelucrarea lemnului și în mine, petrol, geologie, consumul de energie pe unitatea de produs reprezintă un indice al nivelului tehnologic al procesului de fabricație. Pentru **reducerea consumului de energie** industrial există două **metode principale**:

— *perfecționarea tehnologiei procesului de fabricație*, prin folosirea celor mai moderne rețete sau proceduri de fabricație. Tehnologiile de fabricație ale oricărui produs se perfecționează în mod continuu, ca rezultat al eforturilor depuse de colective mixte de specialiști din cercetare, proiectare și producție, ceea ce face ca periodic să apară necesitatea modernizării proceselor tehnologice;

— *utilizarea în modul cel mai eficient*, prin minimizarea consumului de energie sau prin maximizarea unor indici tehnico-economici, a *proceselor tehnologice folosind echipamente moderne de automatizare*. Prin automatizarea proceselor tehnologice se urmărește ca, pe baza aparaturii de automatizare utilizate și a algoritmilor de conducere implementați, să se obțină o desfășurare în condiții optime a proceselor de fabricație. În etapa actuală, când calculatoarele electronice sînt larg utilizate în conducerea proceselor tehnologice, de mare importanță în obținerea unei înalte eficiențe economice este alegerea algoritmilor de conducere care sînt implementați prin programul calculatorului.

Avînd în vedere complexitatea echipamentelor de automatizare care asigură minimizarea consumului de energie, apare problema oportunității utilizării diferitelor metode posibile pentru un anumit proces tehnologic. Este necesară o analiză tehnico-economică, ce va avea în vedere costul echipamentului, termenul de amortizare și eficiența economică obținută.

Reducerea consumului de energie prin automatizarea acțiunilor electrice se poate realiza prin **două metode**:

— *controlul regimului de funcționare al transformatoarelor și mașinilor electrice pentru evitarea mersului în gol*, prin utilizarea unor echipamente de automatizare numite și limitatoare de mers în gol;

— *optimizarea regimurilor de pornire-oprire și de funcționare după criterii de minimizare a pierderilor de energie*, folosind calculatoare electronice prevăzute cu algoritmi evaluați de conducere.

B. REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ LA TRANSFORMATORE ȘI MAȘINI ELECTRICE

1. LIMITATOARE DE MERS ÎN GOL PENTRU TRANSFORMATORE

Controlul regimului de funcționare al unui transformator monofazat sau trifazat se face prin măsurarea curentului din înfășurarea

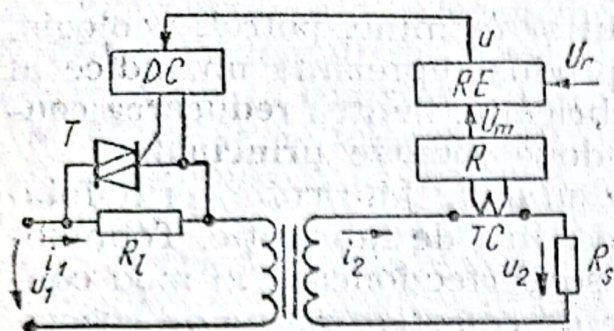


Fig. 15.1

secundară. Când acest curent este zero sau are o valoare mai mică decât o limită inferioară prestabilită, este necesară deconectarea înfășurării primare de la tensiunea de alimentare.

În figura 15.1 este prezentată schema de principiu a unui *limitator de mers în gol* pentru un transformator monofazat; R_s reprezintă

rezistența de sarcină a consumatorului. Pentru a deconecta înfășurarea primară, se folosește un contactor static T , în cazul de față — un triac. Curentul din înfășurarea secundară se măsoară folosind un transformator de curent TC , conectat la un circuit de redresare R , la ieșirea căruia se obține o tensiune U_m proporțională cu curentul i_2 . Tensiunea U_m se compară cu o tensiune de referință U_r , care reprezintă limita inferioară. Când $U_m - U_r < 0$, releul electronic RE transmite un semnal logic u „1” la dispozitivul de comandă DC al contactorului static T , care va declanșa, deconectînd înfășurarea primară de la tensiunea rețelei de alimentare. Pentru obținerea unui curent mic în înfășurarea secundară când contactorul T este declanșat, se folosește o rezistență de limitare R_L .

○ Se observă că limitatorul de mers în gol are aceeași structură ca un sistem automat de reglare cu comandă bipozițională, la care mărimea măsurată este curentul din înfășurarea secundară, regulatorul automat este releul electronic RE , elementul de execuție este contactorul static T , iar instalația electrică automatizată este transformatorul.

Acest limitator de mers în gol se folosește, de exemplu, la transformatoarele de sudură, care pot avea curenți de mers în gol de valoare mai mare ca la transformatoarele clasice din echipamentele de automatizare.

2. ECHIPAMENTE PENTRU REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE LA MAȘINI ELECTRICE

Avînd în vedere largă utilizare a mașinilor electrice, este necesar să se aplice metode eficiente de reducere a consumului de energie electrică. Metodele utilizate în acest scop diferă prin complexitatea echipamentelor electronice necesare și prin algoritmi de comandă implementați.

a. Reducerea consumului de energie electrică prin decuplarea alimentării mașinii electrice la mersul în gol

În figura 15.2 este prezentată schema de principiu a unui *limitator de mers în gol* pentru un motor de curent alternativ; schema de comandă pentru pornire-oprire a acestuia nu a mai fost desenată. Controlul mersului în gol se face măsurînd curentul statoric prin intermediul transformatoarelor de curent TC_1 , TC_2 și TC_3 , conectate la circuitele de redresare R_1 , R_2 , R_3 . Tensiunile U_1 , U_2 , U_3 de la ieșirea redresoarelor sînt transmise la un element electronic de calcul EC , care transmite la ieșire o tensiune U_m , dată de relația:

$$U_m = C_1 U_1 + C_2 U_2 + C_3 U_3$$

unde C_1 , C_2 , C_3 sînt coeficienți de ponderare. Tensiunea U_m este comparată cu tensiunea de referință U_r de un releu electronic de timp RE_T , care are un contact normal închis în serie cu butonul de oprire O din schema de comandă (fig. 15.3).

○ **Notă.** La limitatorul de mers în gol prezentat se poate utiliza în anumite cazuri și un singur transformator de curent.

○ **Se observă** că limitatorul de mers în gol din figura 15.2 are aceeași structură ca un sistem de protecție, care atunci cînd $U_m < U_r$, și această stare durează mai mult decît temporizarea stabilită pe releul de timp, oprește motorul electric prin intermediul unui contact electric.

Repornirea mașinii electrice după acționarea limitatorului de mers în gol se face manual prin apăsarea butonului de pornire P din schema de comandă (fig. 15.3). Acest mod de funcționare este dictat de motive tehnologice, deoarece pot fi necesare anumite intervenții

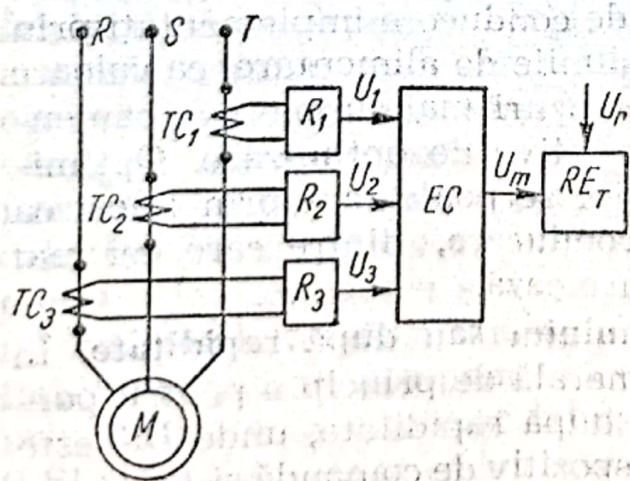


Fig. 15.2

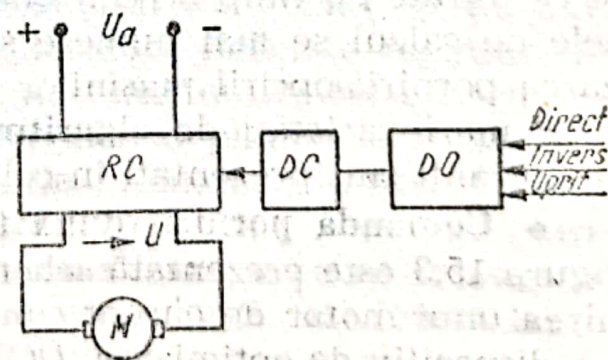


Fig. 15.3

manuale pentru operații curente de întreținere sau de remediere a unor defecțiuni. Repornirea automată a unei mașini electrice este posibilă numai atunci când se folosesc aparate de măsurat și control pentru toate mărimile electrice și mecanice care definesc procesul tehnologic, iar semnalele obținute sînt prelucrate cu ajutorul unui calculator de proces care pe baza unor algoritmi de conducere elaborează comenzile necesare, obținîndu-se astfel o înaltă fiabilitate în funcționarea echipamentelor.

b. Reducerea consumului de energie prin comanda modului de alimentare a mașinii electrice

În unele aplicații industriale este posibil ca, atunci cînd cuplul de sarcină devine mai mic decît o valoare de referință U_r , să se modifice conectarea în triunghi a înfășurărilor statorice în conectare în stea. Schema bloc a acestui tip de limitator de mers în gol este identică cu schema, prezentată în figura 15.2, cu deosebirea că în acest caz contactul normal închis al releului electronic de timp RE_T este utilizat în schema de comandă pentru comanda alimentării stea-triunghi a motorului electric. Prin această metodă de reducere a consumului de energie electrică, la acționarea limitatorului de mers în gol motorul nu este decuplat de la tensiunea de alimentare, condiție obligatorie pentru anumite procese tehnologice.

c. Reducerea consumului de energie prin optimizarea pornirii-opririi mașinilor electrice

Optimizarea funcționării mașinilor electrice necesită calculatoare electronice, care pe baza algoritmilor de conducere implementați prin programele de aplicație, comandă tensiunile de alimentare, ca valoare și ca durate de timp de conectare. În cazuri mai simple echipamentele de calcul se mai numesc și dispozitive de optimizare. Optimizarea pornirii-opririi mașinilor electrice se poate face prin folosirea unei mari varietăți de **algoritmi de conducere**, dintre care cei mai importanți sînt prezentați în cele ce urmează.

- **Comanda pornirii după timp minim sau după rapiditate.** În figura 15.3 este prezentată schema generală de principiu pentru pornirea unui motor de curent continuu după rapiditate, unde DO este un dispozitiv de optimizare, DC — dispozitiv de comandă și RC — redresor dublu comandat (v. fig. 7.11). În figura 15.4 se prezintă ilus-

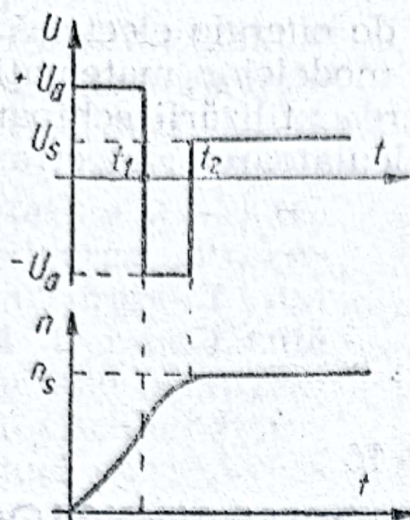


Fig. 15.4

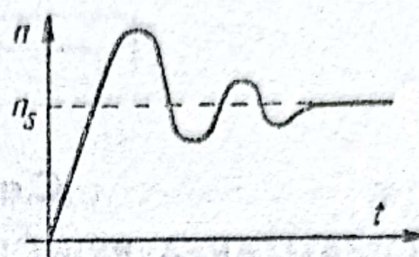


Fig. 15.5

trativ forma de semnal pentru tensiunea de alimentare U a motorului de curent continuu și variația turației n în timp. Dispozitivul de optimizare determină timpii de comutație t_1 și t_2 după principiul maximului a lui Pontriaghin și valoarea tensiunii U_s — în regim staționar, astfel încît să se atingă turația impusă n_s într-un timp minim. Prin acest mod de comandă se obțin performanțele de reglare impuse și care sînt superioare cazului cînd procesele tranzitorii au suprareglaj și oscilații amortizate (fig. 15.5).

• **Comanda pornirii prin minimizarea pierderilor de energie.** Există procese tehnologice, ca de exemplu în irigații, în industria petrolieră etc., unde sînt folosite motoare electrice de putere mare. Avînd în vedere numărul mare de astfel de mașini electrice, se impune condiția pornirii acestora după criteriul minimizării pierderilor de energie. În acest scop se folosește un calculator electronic (dispozitiv de optimizare), conectat într-o structură identică cu cea din figura 15.3 și care comandă alimentarea motorului electric astfel încît să se obțină minimizarea pierderilor de energie la pornirea acestuia. Pentru realizarea pornirii cu minimizarea pierderilor de energie este necesară cunoașterea modelului matematic al mașinii electrice și măsurarea tuturor mărimilor care definesc regimul de funcționare al mașinii electrice. Valorile tensiunilor de alimentare calculate și timpii de comutație ai comenzii depind de caracteristicile sarcinii mecanice și de criteriul de minimizare ales. Această metodă modernă de optimizare a mașinilor electrice impune o mare fiabilitate pentru echipamentele de automatizare, ceea ce se asigură prin utilizarea circuitelor integrate pe scară largă sau foarte largă (LSI și VLSI).

Metodele de reducere a consumului de energie electrică necesită cunoașterea proceselor tehnologice, a modelelor matematice care descriu funcționarea acestora și extinderea utilizării echipamentelor moderne de automatizare, inclusiv a calculatoarelor electronice.

Capitolul 16

AUTOMATIZAREA PRINCIPALELOR PROCESE TEHNOLOGICE DIN RAMURA DE PROFIL

În acest capitol se vor prezenta sisteme de reglare care sînt utilizate în automatizarea diferitelor utilaje în ramura de profil. Nu este scopul acestui capitol să expună aspectele teoretice ale acestor aplicații, ci să arate în rezumat sisteme de reglare pentru procese industriale întîlnite frecvent, comentîndu-se unele dintre aspecte pentru a oferi în felul acesta sugestii pentru situații care se pot întîlni în practica exploatării industriale.

A. REGLAREA AUTOMATĂ A SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ

În mod obișnuit, în aceste utilaje se reglează temperatura unui fluid, măsurîndu-se această temperatură și modificîndu-se debitul fluidului încălzitor sau răcitor pentru a se obține temperatura prescrisă. O asemenea reglare este indicată în figura 16.1, în care s-a specificat și aparatura, construită în țară, cu care s-a realizat.

Regulatorul este de obicei de tip *PID*. Va fi suficient un regulator *P* dacă perturbațiile — variațiile presiunii aburului și debitul de produs încălzit sau schimbări în temperatura produsului de încălzit la intrare — sînt mici. Dacă sînt de așteptat perturbații importante de sarcină, este necesar efectul *I*, pentru a elimina abaterea staționară care ar apărea cu un regulator numai cu efect *P*. Dacă debitul de produs către schimbătorul de căldură variază rapid, va rezulta o abatere mare în valoarea temperaturii reglate. Mărimea sau/și durata acestei abateri va putea fi redusă la aproximativ jumătate dacă se întrebuintează și efectul *D*.

Dacă elementul de măsurare sau caracteristicile robinetului nu sînt corect stabilite, se vor obține performanțe slabe ale reglării. Instalarea elementului de măsurare T din figura 16.1 trebuie făcută cît mai aproape de suprafața activă a schimbătorului de căldură.

Pentru a se asigura o revenire mai rapidă a temperaturii la regimul staționar, în special la schimbătoarele de căldură tubulare în care încălzirea este asigurată prin abur și sînt de temut perturbații în debitul acestui abur, se întrebuintează un sistem de reglare în cascadă (fig. 16.2). Variabila secundară în acest caz este debitul aburului la intrarea în schimbătorul de căldură. Variațiile debitului de abur de încălzire sînt ușor compensate cu sistemul de reglare secundar. În general, regulatorul secundar R_2 este de tip P sau PI , alegerea între aceste posibilități depinzînd de precizia reglării cerută pentru bucla secundară. De altfel, orice abatere în reglarea parametrului secundar este corectă în ce privește parametrul principal — temperatura produsului — prin acțiunea regulatorului principal R_1 , care este de obicei de tip PID .

După cum s-a arătat în prezentarea sistemelor în cascadă, pentru ca să se beneficieze de avantajele unui asemenea sistem este necesar ca bucla de reglare secundară să aibă constante de timp mai mici decît cele care se găsesc în restul procesului, condiție care este îndeplinită în exemplul din figura 16.2.

Dacă debimetrul este cu diafragmă, semnalul său de ieșire este proporțional cu pătratul debitului și — pentru liniarizarea caracteristicii circuitului de măsurare — este necesar să se introducă un bloc de calcul extractor de radical.

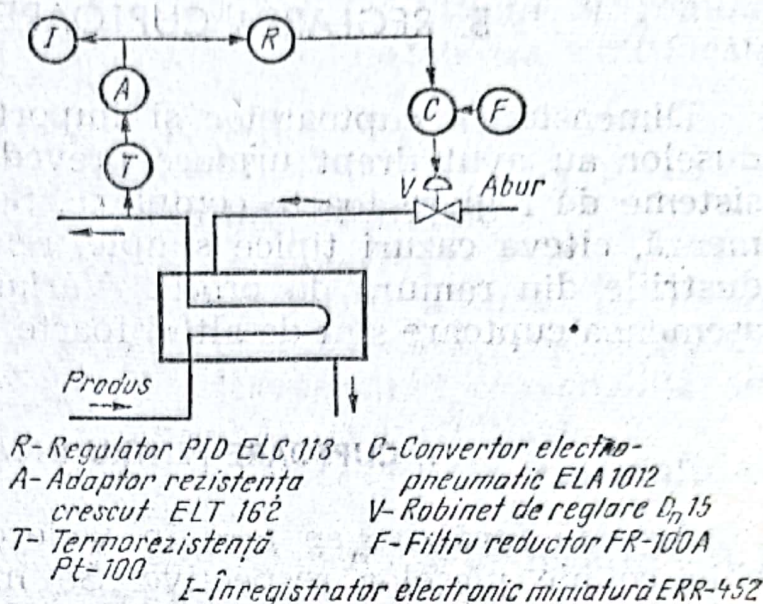


Fig. 16.1

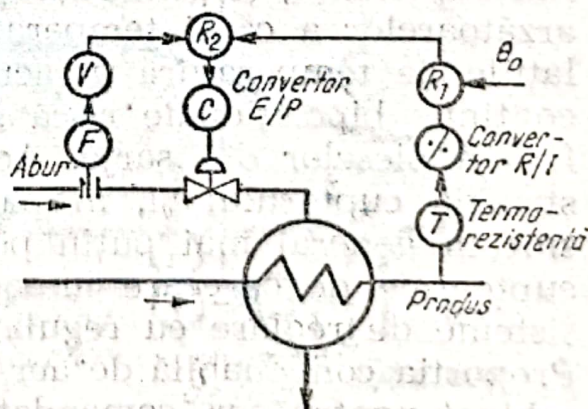


Fig. 16.2

B. REGLAREA CUPTOARELOR MODERNE

Dimensiunea cuptoarelor și importanța atribuită calității produselor au avut drept urmare prevederea în aceste cazuri a unor sisteme de reglare foarte complexe. Se vor examina, în cele ce urmează, câteva cazuri tipice simple, realizate în ultimul timp în industriile din ramura de profil. Variantele de automatizare pentru asemenea cuptoare sînt de altfel foarte numeroase.

1. CUPTOARE PENTRU ÎNCĂLZIRE DE PIESE

Această încălzire se face în vederea tratamentelor termice sau chimice ale pieselor respective. Se întrebuițează deseori în asemenea cuptoare *sisteme de reglare cu reglatoare discontinue speciale*, cu două sau trei poziții. Poziția a treia corespunde cu capacitatea maximă de încălzire și servește la încălzirea rapidă inițială a pieselor; această încălzire se întrerupe la câteva grade sub valoarea prescrisă și regulatorul funcționează apoi cu un regulator discontinuu bipozițional. Dacă cuptorul este lung, încălzirea se asigură și se reglează pe mai multe zone. Elementele de măsurare pentru temperatură trebuie să aibă constante de timp mici, pentru a nu se provoca o supraîncălzire a șarjelor. De asemenea, amplasarea lor trebuie studiată cu grijă.

- Reglarea discontinuă cu două sau trei poziții este satisfăcătoare **pentru cuptoarele electrice** în cele mai multe dintre cazuri. Dacă se consideră exagerată amplitudinea oscilațiilor de temperatură, se pot întrebuița reglatoare cu reacție, care au ca efect reducerea acestor amplitudini.

- În **cuptoarele cu combustibil** problemele sînt mai complexe. Încălzirea se face prin radiație, emanînd de la pereți sau din tavanul cuptorului, și prin radiație și convecție provenind de la flacăra arzătoarelor a cărei temperatură este sensibil mai ridicată. Oscilațiile de temperatură caracteristice sistemelor cu reglatoare discontinue bipoziționale riscă să producă o supraîncălzire de suprafață a pieselor din șarje. Aceste inconveniente depind și de construcția cuptorului și, în particular, de reparația arzătoarelor și sînt în general mai puțin periculoase în cuptoarele mici. Pentru cuptoarele de oarecare importanță se întrebuițează de preferință sisteme de reglare cu reglatoare continue cu caracteristici *PID*. Proporția convenabilă de aer/combustibil se obține cu ajutorul unui robinet pentru aer, comandat în același timp cu robinetul de combustibil de către regulatorul de temperatură.

Dacă sînt periculoase variațiile mari ale debitului de combustibil, un sistem de reglare în cascadă poate stabiliza satisfăcător temperatura în interiorul cuptorului.

2. CUPTOARE CU FUNCȚIONARE CONTINUĂ

Un asemenea cuptor seamănă cu un tunel în care piesele sînt continuu introduse la o extremitate, se deplasează pînă la cealaltă extremitate și, după ce au ajuns la o temperatură convenabilă, sînt preluate pentru a fi prelucrate prin laminare sau trefilare.

Un asemenea cuptor are mai multe zone, de cele mai multe ori trei, și în acest caz ele au funcțiile următoare (fig. 16.3):

— în zona de preîncălzire piesele reci încep să se încălzească în contact cu produsul cald al combustiei;

— în zona de încălzire maximă piesele ajung la o temperatură convenabilă;

— în zona de egalizare temperatura pieselor se uniformizează. Dintre aceste zone, numai ultimele două sînt încălzite cu arzătoare.

Reglarea temperaturii întîmpină în acest caz unele dificultăți principale. Astfel, dacă se poate admite că în zona de egalizare piesele absorb puține calorii, temperatura lor fiind foarte aproape de aceea din interiorul cuptorului, în zona de încălzire maximă situația este total diferită pentru că în această zonă cuptorul are

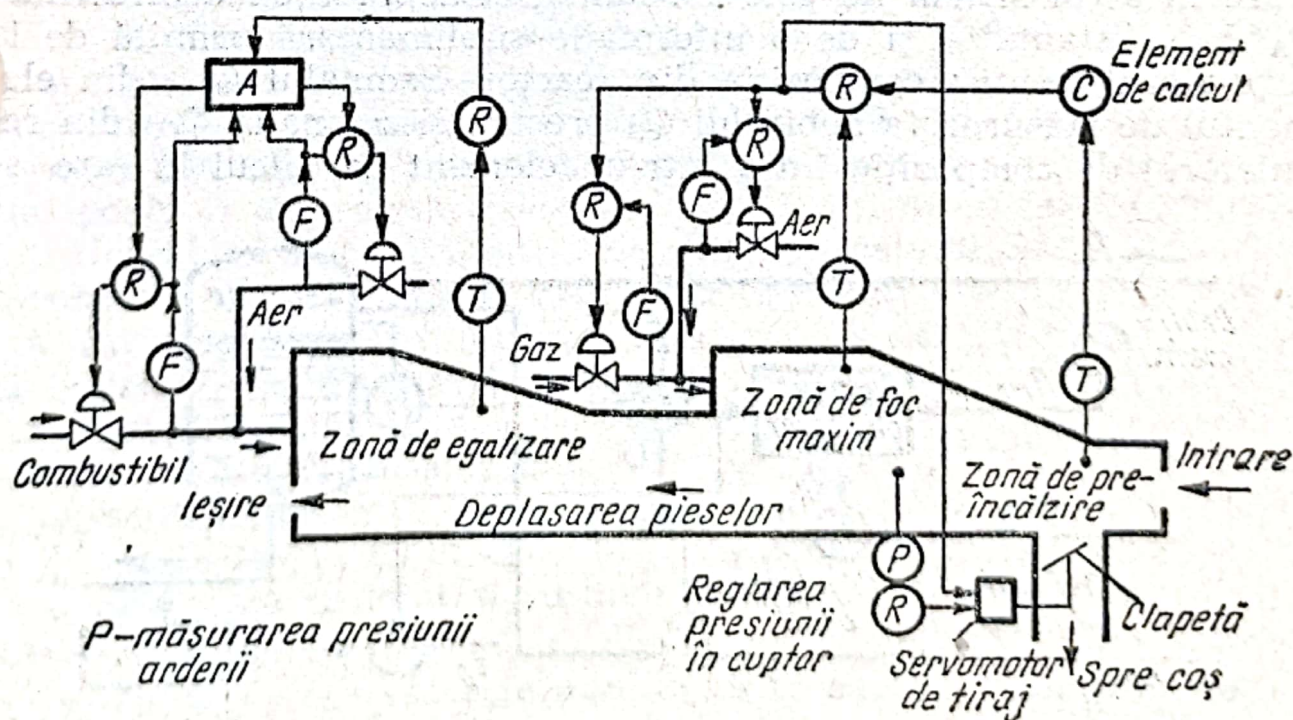


Fig. 16.3

o temperatură ridicată pentru ca schimbul de calorii să fie intens și în consecință — foarte diferită de aceea a pieselor. În aceste condiții, dacă dintr-un motiv oarecare se oprește scoaterea pieselor, acelea care se găsesc în zona de încălzire maximă ar fi supraîncălzite în mod excesiv dacă nu se iau măsuri speciale. În acest scop sînt necesare informații asupra temperaturii din zona de preîncălzire. Dacă cuptorul debitează cu o cadență constantă, această temperatură se stabilizează la o anumită valoare, care crește foarte repede de îndată ce cadența de deplasare a pieselor încetinește. Se întrebuițează o asemenea informație pentru a evita supraîncălzirea pieselor în zona de încălzire maximă, de exemplu prin întrebuițarea unui element de calcul care modifică referința regulatorului din sistemul de reglare a temperaturii în zona de încălzire maximă.

C. REGLĂRI DE RAPORT DE DEBITE

Asemenea reglări se întîlnesc în numeroase procese industriale: în asigurarea arderii corecte a unui combustibil, în realizarea unui amestec de substanțe în proporții prescrise etc.

Cea mai frecventă structură pentru **reglarea unui raport de debite** este aceea arătată în figura 16.4, care se referă la **amestecul a două substanțe într-un reactor**. Sistemul de reglare pentru debitul Q_B de substanță B are un regulator PI , însă mărimea de intrare în acest sistem nu este constantă, ci depinde de debitul liber Q_A de substanță A și de o informație suplimentară primită de la regulatorul pentru compoziția din reactor. Semnalul Q_{MA} din elementul de măsurare a debitului Q_A precum și semnalul Q_{CC} din regulatorul de compoziție intră într-un element de calcul în care se

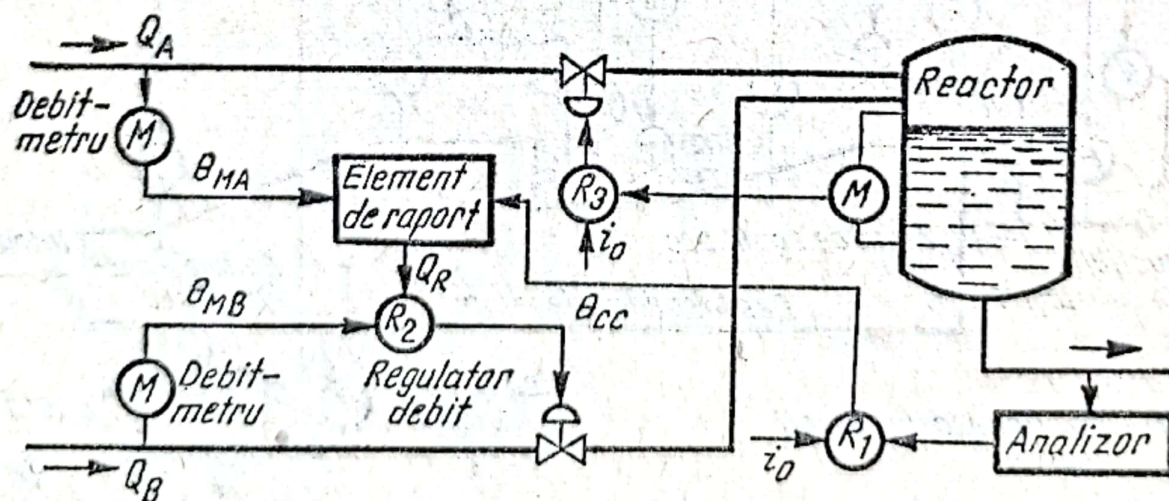


Fig. 16.4

realizează semnalul Q_R . Acest semnal constituie mărimea de referință în sistemul de reglare pentru debitul de substanță B , sistem care funcționează „prin urmărire”, pentru că această mărime de referință Q_R este variabilă. Perturbațiile care apar în sistemul de reglare al debitului Q_B au în acest caz o importanță mai redusă. Dacă variațiile debitului Q_A nu sînt rapide și nici mari, aceasta fiind situația obișnuită în practică, acordarea regulatorului R_2 de tip PI se poate face pe baza recomandărilor pentru sistemele de reglare cu mărime de referință constantă.

Sistemul de reglare a nivelului din reactor are ca element de execuție un robinet pe debitul Q_A , care de obicei este debitul cel mai important, și un regulator R_3 , de obicei de tip PI .

D. SISTEME PENTRU PROPORȚIONAREA CONTINUĂ ÎN INDUSTRIA ALIMENTARĂ

În numeroase procese tehnologice din industria alimentară s-a trecut de la amestecuri discontinue la desfășurarea continuă a procesului. După îndelungate experimentări s-a ajuns să se stabilească *sisteme de reglare pentru cîntăriri continue*, care sînt aplicate actualmente *pentru amestecuri de solide*, obținîndu-se următoarele avantaje: investiții mai mici pe unitatea de producție; reducerea costului producției; productivitate mai mare; calitate mai uniformă.

• În figura 16.5 este arătat un **proces de reglare a debitului unui material solid**. Benzi gravimetrice sînt întrebuintate într-o mare varietate de sisteme de reglare care realizează măsurarea și reglarea turației. Mărimea de intrare în regulatorul principal R poate fi fixă sau poate fi determinată de alte cerințe din desfășurarea procesului. Un șubler manual stabilește grosimea stratului de material. Elementul de multiplicare M realizează continuu produsul în tone pe oră între greutatea materialului dată de dispozitivul de cîntărire DC al benzii și viteza benzii V dată de traductorul de turație V . Această informație este introdusă în regulatorul R și mărimea de comandă acționează asupra ansamblului MB (motorul care antrenează banda gravimetrică). Dacă, de exemplu, densitatea materialului transportat crește, aceasta are ca efect încetinirea benzii gravimetrice și invers. Sistemul poate fi dotat și cu un totalizator CT al cantității de material transportat.

• În unele procese este necesar să se adauge o cantitate redusă de materiale unui debit de material care sosește necontrolat. În asemenea cazuri, o bandă gravimetrică — prin dispozitivul DC din

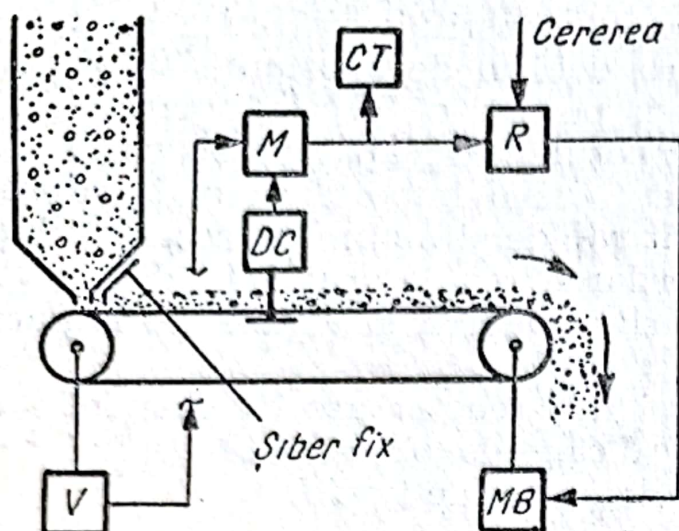


Fig. 16.5

figura 16.6 — măsoară debitul liber și semnalul respectiv este introdus într-un element de calcul *EC*, care stabilește debitul de material aditiv corespunzător. Semnalul respectiv este apoi introdus în regulatorul *R*. În figura 16.6 materialul aditiv este un lichid. El poate fi și un material solid, în care caz mărimea de comandă a regulatorului *R* acționează asupra unei benzi gravimetrice care asigură cantitatea de aditiv necesară.

• O structură mai complexă se întâlnește în procesele cu mai multe debite corelate. În astfel de cazuri, mărimile de referință pentru regulatoarele buclelor de reglare individuale pentru materialele componente sînt stabilite printr-un dispozitiv de către operator sau cu ajutorul unui minicalculator.

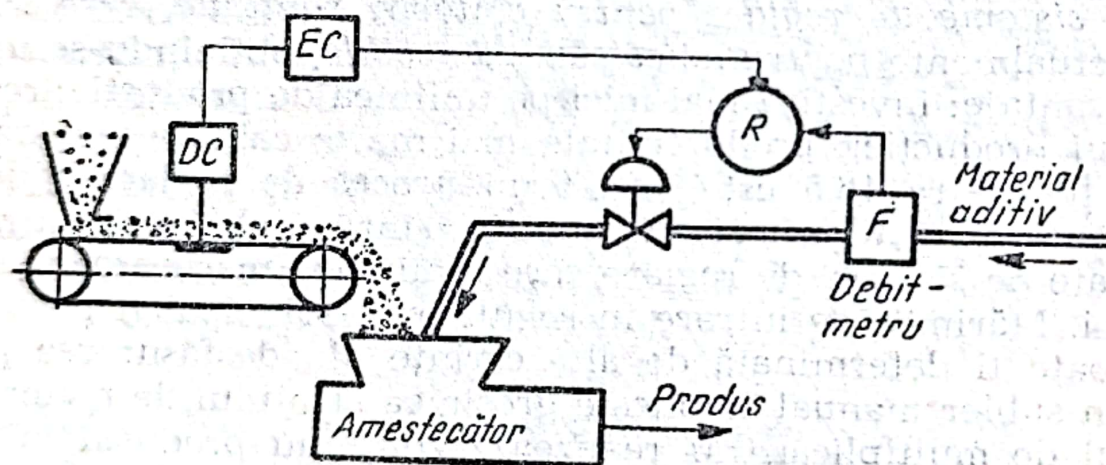


Fig. 16.6

E. AUTOMATIZAREA INSTALAȚIILOR DE CONDIȚIONARE A AERULUI

Reglarea umidității și temperaturii aerului în sălile de fabricație este importantă în producția de alimente, textile, hîrtie, unele procese chimice, în procesele de uscare și depozitare.

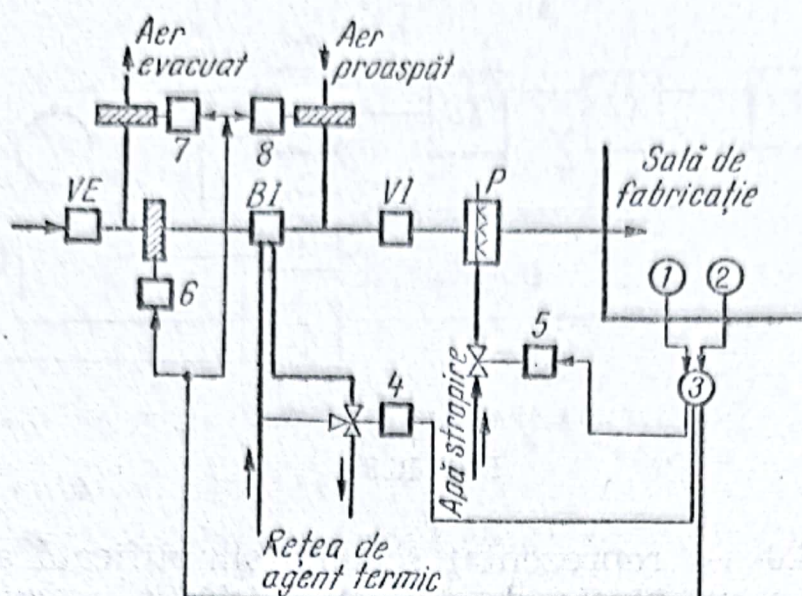


Fig. 16.7

Un sistem de reglare a umidității și temperaturii într-o sală de fabricație este arătat în figura 16.7 (schemă tehnologică simplificată) și cuprinde:

- un traductor de temperatură ambientă 1, funcționând în domeniul $10 \dots 30^{\circ}\text{C}$;
- un traductor de umiditate relativă 2, funcționând în domeniul $60 \dots 70\%$;
- un regulator specializat pentru climatizări cu caracteristici *PI*, cu referință pentru umiditate și temperatură, 3;
- robinete de reglare cu servomotor electric 4, 5, 6, 7, 8.

Umiditatea este reglată cu ajutorul pulverizatorului *P* și al robinetului de reglare 5.

Aerul în sală este îmborsătit prin acțiunea ventilatorului *VE* care evacuează aerul din sală și a ventilatorului de introducere *VI*. Cantitatea de aer introdus este determinată prin acțiunea jaluzelelor 7 (de evacuare spre atmosferă), 8 (de aer proaspăt) și 6 (de aer recirculat). Încălzirea aerului recirculat se face cu ajutorul bateriei de încălzire *BI* și a robinetului de reglare 4 și este menținută în limitele prescrise și de robinetele de reglare 5, 6, 7 și 8.

F. SISTEM DE REGLARE A VITEZEI

Problema reglării vitezei de rotație a unui sistem de acționare a unei mașini de lucru apare în aproape toate ramurile industriale.

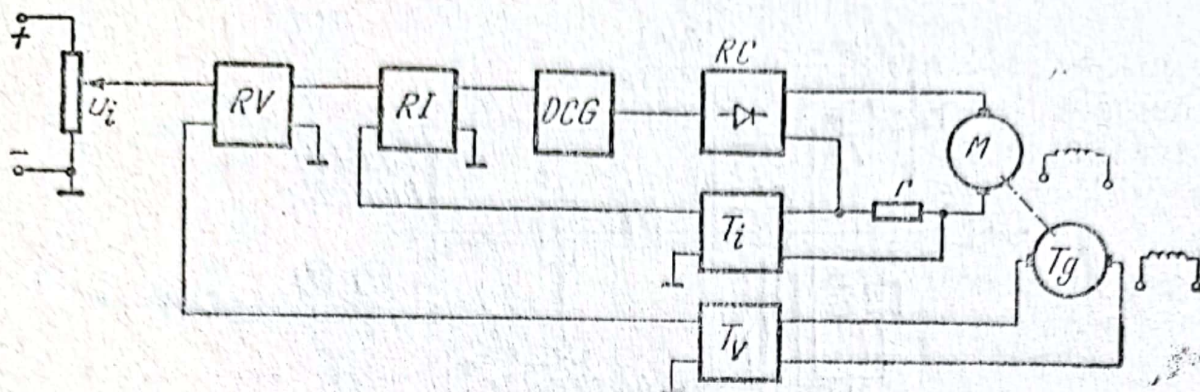


Fig. 16.8

În figura 16.8 s-a reprezentat schema simplificată a unui astfel de sistem pentru un motor de curent continuu cu excitație separată.

Așa cum s-a menționat în capitolul 13, de obicei se folosește o reglare în cascadă, utilizându-se o reacție după viteză și una după curent. *Reacția după viteză* este asigurată cu tahogeneratorul T_g , iar pentru *reacția după curent* se folosește căderea de tensiune culeasă de pe șuntul r (rezistența r este de valoare mică, pentru a nu provoca pierderi mari de energie). Blocurile T_i și T_v au rolul de a asigura adaptarea între elementele de măsurare și reglatoare și de a realiza separarea galvanică între partea de forță (circuitul motorului) și cea de comandă.

Valoarea dorită a vitezei se prescrie prin tensiunea U_i , care reprezintă mărimea de intrare pentru regulatorul de viteză RV . Mărimea de ieșire a acestui regulator este mărimea de prescriere pentru regulatorul de curent RC . Ieșirea acestuia comandă elementul de execuție format din dispozitivul de comandă pe grilă DCG și redresorul comandat RC (RC și legătura sa cu DCG s-au reprezentat simbolic).

Bucula de curent asigură menținerea constantă a curentului la valoarea prescrisă de regulatorul de viteză. RV dictează deci buclei de curent deschiderea tiristoarelor din RC astfel încît curentul rotoric să asigure (pentru cuplul rezistent existent) acea viteză de rotație care se prescrie prin tensiunea U_i . Ambele reglatoare sînt de obicei de tip PI .

CUPRINS

Partea întâi

ACTIONĂRI

Cap. 1. <i>Noțiuni generale despre mașinile electrice</i>	3
A. Noțiuni introductive	3
B. Mașini electrice de curent continuu	4
C. Transformatoare electrice	11
D. Mașini electrice sincrone	13
E. Mașina asincronă	15
F. Pierderile și randamentul mașinilor electrice	19
G. Utilizarea mașinilor electrice	19
Cap. 2. <i>Ecuatia fundamentală a mișcării</i>	20
A. Noțiuni introductive	20
B. Ecuatia fundamentală a mișcării pentru acționări cu mișcare liniară	21
C. Ecuatia fundamentală a mișcării pentru acționări cu mișcare de rotație	22
D. Forme ale ecuației fundamentale a mișcării	23
E. Unități de măsură pentru cuplu, moment de inerție și moment de volant	24
F. Raportarea cuplului rezistent static la arborele motorului	24
G. Raportarea momentelor de inerție (de volant) la arborele motorului	
H. Discutarea ecuației fundamentale a mișcării	26
Cap. 3. <i>Caracteristicile mecanice și regimurile de funcționare ale mașinilor de lucru</i>	26
A. Noțiuni introductive	26
B. Clasificarea mașinilor de lucru în funcție de caracteristicile lor mecanice	27
C. Clasificarea mașinilor de lucru în funcție de regimul lor de funcționare	30

Cap. 4. <i>Caracteristici mecanice și regimuri de funcționare ale motoarelor electrice</i>	33
A. Noțiuni introductive	33
B. Caracteristicile mecanice și regimurile de frânare ale motoarelor de curent continuu cu excitație derivație	35
C. Caracteristicile mecanice și regimurile de frânare ale motoarelor de curent continuu cu excitație serie și mixtă	42
D. Caracteristicile mecanice și regimurile de frânare ale motoarelor asincrone	44
E. Caracteristica mecanică unghiulară a motorului sincron	50
Cap. 5. <i>Alegerea motoarelor electrice de acționare</i>	51
A. Alegerea motorului de acționare în funcție de caracteristica mecanică a mașinii de lucru	51
B. Alegerea tipului de motor	52
C. Alegerea tipului constructiv de motor de acționare	53
D. Determinarea puterii motoarelor electrice în funcție de încălzire	54
Cap. 6. <i>Acționări electrice cu grupuri de mașini</i>	57
A. Noțiuni introductive	57
B. Grupul generator-motor	58
C. Convertizoare de frecvență rotative	60
D. Arborele electric	61
Cap. 7. <i>Sisteme de acționare cu elemente de comutație statică</i>	63
A. Noțiuni introductive	63
B. Alimentarea motoarelor de curent continuu cu redresoare comandate monofazate	65
C. Alimentarea motoarelor de curent continuu cu redresoare comandate trifazate	66
D. Acționări electrice reversibile și reglabile	68
Cap. 8. <i>Acționări hidraulice și pneumatice</i>	69
A. Noțiuni introductive	69
B. Schema structurală a acționărilor hidraulice și pneumatice	69
C. Elemente componente ale acționărilor hidraulice	70
D. Elemente componente ale acționărilor pneumatice	74
E. Exemple de acționări hidraulice și pneumatice	77
F. Domenii de utilizare a acționărilor hidraulice și pneumatice	79

Cap. 9. Scheme de comandă ale sistemelor de acționare electrică . . .	79
A. Simboluri standardizate și notații pentru elementele componente ale unei scheme de comandă	81
B. Scheme de comandă pentru pornirea motoarelor electrice .	82
C. Scheme de acționare electrică cu asigurarea unei anumite succesiuni de funcționare a motoarelor	86

Partea a doua

AUTOMATIZĂRI

Cap. 10. Noțiuni generale de teoria sistemelor de reglare automată . . .	89
A. Considerații generale	89
B. Reglarea manuală	90
C. Sisteme de reglare automată	91
Cap. 11. Componenta unui sistem de reglare	96
A. Noțiuni generale	96
B. Procesul reglat	97
C. Dispozitivul de automatizare	104
Cap. 12. Funcționarea sistemelor de reglare	120
A. Stabilitatea sistemelor de reglare	120
B. Alegerea tipului de regulator	121
C. Acordarea reglatoarelor în sistemele de reglare simple . .	123
Cap. 13. Sisteme de reglare speciale și sisteme de reglare a parametrilor tehnologici uzuali	127
A. Sisteme de urmărire	127
B. Sisteme de reglare în cascadă	128
C. Caracteristici ale sistemelor de reglare ținând seama de parametrul reglat	130
Cap. 14. Noțiuni de telemecanică	133
A. Funcțiile și structura sistemelor telemecanice	133
B. Mesaje telemecanice	135
Cap. 15. Modalități de reducere a consumului de energie electrică utilizând tehnologii moderne în cadrul acționărilor electrice . . .	136
A. Noțiuni introductive	136

B. Reducerea consumului de energie electrică la transformatoare și mașini electrice	137
--	-----

Cap. 16. Automatizarea principalelor procese tehnologice din ramura de profil	142
A. Reglarea automată a schimbătoarelor de căldură	142
B. Reglarea cuptoarelor moderne	144
C. Reglări de raport de debite	146
D. Sisteme pentru proporționarea continuă în industria ali- mentară	147
E. Automatizarea instalațiilor de condiționare a aerului	148
F. Sistem de reglare a vitezel	149

*Coli de tipar: 9,75. Format: 16/54×84.
Bun de tipar: 18.03.1988. Nr. plan: 19.029.
Ediția: 1988.*

Tiparul executat sub comanda nr. 402/87,
la Întreprinderea Poligrafică „Crișana”, Oradea,
str. Leontin Sălăjan nr. 105
Republica Socialistă România



Lei 7,10

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI-1988

